énergie

Pour l'industrie et le commerce

COMMENT ÉCONOMISER GRÂCE AU CALCUL FONDAMENTAL DUNE INSTALLATION LA RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR

Energy, Mines and Resources Canada

Office of Energy Conservation

92-06172/

Comité de révision

B.W. Robinson, Hydro-Ontario

M. Bernie Zgola, La brasserie Labatt Ltée

Brian Howell, Consumers Glass Company Limited

N. Cuchurean, Celanese Canada Limitée

A.G. Darimont, Esso Chemical Canada

B.J. Davies, Canron Limitée

P.A. Mitcham, International Harvester Canada Limited

T.E. Chalmer, Canadian International Paper Company

W.J. Wolcott, La General Motors du Canada Limitée

R.C. Walterson, Thames Valley Beverages Ltd.

J.G. McGill, Hayes-Dana Limited

A.C.S. Hayden, Laboratoire canadien de recherches sur la combustion

Table des matières

Introduction	1
Texte	1
Études de cas	15
Quelques bons tuyaux	27
Conversion au système métrique	28

E1-77-10
© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980
N° de cat. M91-2/3-1980F
ISBN 0-662-90875-9

Publié en vertu de l'autorisation du
Ministre de l'Énergie, des Mines, et des Ressources

COMMENT ÉCONOMISER GRÂCE AU CALCUL FONDAMENTAL D'UNE INSTALLATION ET À LA RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR

3

Comment économiser grâce au calcul fondamental d'une installation et à la récupération de la chaleur

Introduction:

La plupart des procédés industriels aujourd'hui en usage dans les usines canadiennes ont été conçus à une époque où les coûts de l'énergie et les attitudes à son égard étaient très différents de ce qu'ils sont maintenant. Par conséquent, sur le plan de la conservation de l'énergie, nombre d'entre eux se révèlent très peu efficaces.

Le présent fascicule est destiné à aider les gestionnaires d'entreprises à mieux utiliser le matériel de traitement ainsi qu'à modifier l'isolation, les commandes et d'autre matériel, ce qui leur permettra de conserver plus d'énergie électrique ou autre.

Alors que de nombreux domaines de l'industrie sont touchés par les techniques de récupération de la chaleur, plusieurs de ces dernières sont reliées aux procédés. C'est pourquoi on trouve dans ce fascicule une description complète des divers appareils de récupération thermique disponibles sur le marché.

Le calcul fondamental des installations et la récupération de la chaleur

Le coût élevé de l'énergie est devenu pour l'industrie une des réalités immuables de la vie. En effet, la situation est maintenant si bien ancrée qu'il est quelquefois difficile de se rappeler l'époque où l'énergie ne coûtait pas cher.

Cependant, cette période ne remonte pas à l'histoire ancienne. L'augmentation substantielle du coût de l'énergie est un phénomène relativement récent. Pas plus tard qu'en 1972, par exemple, la plupart des entreprises canadiennes payaient moins d'un dollar le mille pieds cubes de gaz naturel. Ce n'est donc une surprise pour personne d'apprendre que la plupart des usines, y compris celles qui sont réputées modernes, ont été conçues en fonction d'un combustible économique facilement accessible. C'est pourquoi plusieurs facettes de l'utilisation énergétique industrielle ne sont pas aussi efficaces qu'elles pourraient l'être. Certains secteurs (chauffage, éclairage, systèmes de vapeur, planification de la production) reflètent une attitude qui, en matière d'énergie et de son utilisation, favorisait la croissance sans vraiment tenir compte de la réduction des coûts par la conservation.

Nulle part ailleurs cette attitude n'est aussi apparente que dans les procédés et les équipements industriels.

Pour le dire sans ambages, si les coûts de l'énergie avaient alors atteint leur niveau actuel et si la conservation de l'énergie avait été à l'ordre du jour, les procédés n'auraient pas été conçus comme ils le furent sans isolation convenable, en permettant à des quantités considérables de chaleur perdue de s'échapper et en négligeant d'utiliser d'autres sources de chaleur perdue pour préchauffer les matériaux de transformation.

Inutile de s'acharner sur le fait que les règles fondamentales ont changé. Il serait plus constructif de s'interroger sur les moyens de redresser une situation qu'on retrouve dans plusieurs procédés industriels.

De plus, une grande quantité d'énergie s'associe indirectement au traitement de l'eau et à son approvisionnement et souvent, les eaux résiduelles en contiennent également des quantités importantes.

Dans l'avenir, non seulement en coûtera-t-il plus cher pour obtenir de l'eau en grande quantité mais il en coûtera aussi plus cher pour en disposer. Actuellement, les programmes de conservation de l'eau peuvent se justifier par des raisons économiques (voir les études de cas) mais ils seront également fort utiles aux entreprises si des restrictions ou des contrôles sévères de l'approvisionnement de l'eau devenaient une réalité.

Savoir reconnaître l'importance du moment

L'efficacité ou l'inefficacité des procédés employés par une usine dépend en grande partie du moment de sa construction, de l'installation des procédés et du degré de sensibilisation des ingénieurs et concepteurs aux problèmes de l'énergie lors de l'installation.

La plupart des gestionnaires croient connaître instinctivement les secteurs généraux qui sont déficients sur le plan de la conservation énergétique dans leur usine. Cependant, ils sont souvent fort surpris en apprenant les causes des pertes énergétiques les plus importantes. Seule une expertise complète permet de les déterminer.

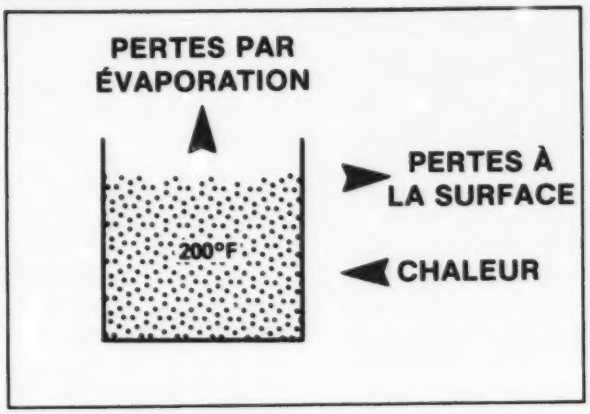
On trouve dans le guide des explications assez détaillées sur l'établissement d'un bilan. Cependant, il faut en mentionner certaines étapes élémentaires:

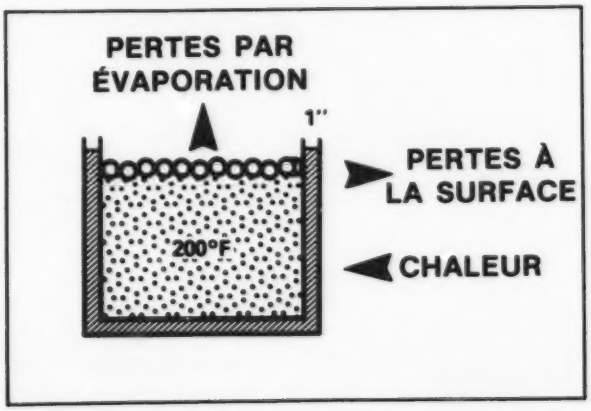
- Examiner en premier lieu les opérations de transformation afin d'établir des priorités en fonction des demandes énergétiques les plus importantes.
- Chaque fois que c'est possible, mesurez le débit énergétique et les températures des procédés et de l'effluent.
- Vérifiez à nouveau si les devis des experts-conseils et des fabricants sont respectées.

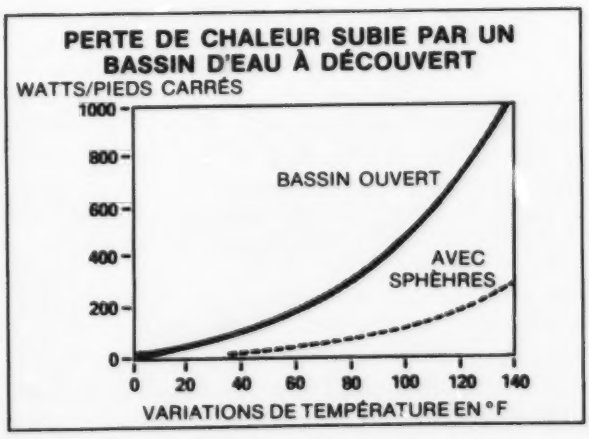
- Analysez chaque procédé indiquant sur un ordinogramme simple les soldes d'énergie et de matériel.

Un esprit curieux (et cynique) est peut-être l'élément sur lequel repose le succès d'une expertise valable. Il faut poser des questions et ne pas accepter des réponses faciles telles que "c'est comme ça" et "c'est ainsi que ça se fait ici".

Pertes de chaleur subies par des bassins de traitement







Il faut poser les questions fondamentales suivantes:

- Les méthodes d'entretien sont-elles à point ou sont-elles la cause d'une consommation énergétique accrue?
- Est-il possible de réduire les températures, les vitesses d'écoulement ou d'autres conditions sans affecter le taux de production ou la qualité du produit?
- Le matériel peut-il être mieux isolé afin de réduire les pertes de chaleur?
- Peut-on faire recirculer les chaleurs perdues d'un procédé pour se préchauffer?
- Existe-t-il dans l'usine d'autres sources de chaleurs perdues pouvant servir à préchauffer le matériau à traiter?
- Pourrait-on transformer certains déchets en énergie utile?

Très souvent, les fabricants de matériel, de produits chimiques et d'additifs peuvent être d'un grand secours dans ce domaine. Parfois, il faut faire certaines expériences avant d'en arriver à l'équilibre idéal entre la qualité du produit et la conservation de l'énergie mais, l'économie énergétique réalisée en vaut la peine.

Si la conception du produit est adéquate, la qualité du produit n'a pas à être sacrifiée à la conservation de l'énergie. Ainsi, par exemple, un des cas étudiés montre qu'un système de peinture à couche unique conçu pour les pièces de tracteurs fait économiser des quantités considérables d'énergie dans les fours de séchage.

Aujourd'hui, petit est synonyme de beau. Moins la température de traitement est élevée, plus les besoins énergétiques sont bas et plus il est facile de résoudre les problèmes d'évacuation de l'effluent chaud. Cependant, deux facteurs agissent sur la consommation énergétique: la température et le temps. C'est ainsi que la dépense énergétique requise pour certains traitements effectués à des températures très élevées pendant de courtes périodes est parfois moindre que celle exigée par d'autres traitements à des températures inférieures pendant des périodes plus longues (par exemple, l'uppérisation du lait).

Les procédés industriels exigent fréquemment de la chaleur et très souvent une chaleur élevée; l'économique d'aujourd'hui en a fait une loi fondamentale de la thermodynamique voulant que "là où il y a de la chaleur, il doit y avoir isolation".

Les bassins découverts utilisés pour le placage ainsi que d'autres procédés sont d'excellents exemples de la nécessité de l'isolation. Les situations décrites dans la présente publication montrent au moyen de graphiques les utilisations possibles d'un isolant dans le fond et sur les parois latérales des réservoirs, et d'un écran flottant de billes de plastique ou de couvercles rigides amovibles. Non seulement un système complet d'isolation fait-il réaliser des économies substantielles, mais il réduit l'évapora-

tion, diminuant ainsi les besoins en eau et les effets nuisibles d'un milieu ambiant humide sur les individus et sur le matériel.

On trouve d'autres sortes d'isolation, notamment les rideaux d'air chaud, ainsi que diverses méthodes qui réduisent les pertes de vapeur du matériel de transformation sans qu'il soit nécessaire d'avoir des échappements en trop grande quantité pour créer des dépressions à l'intérieur du laveur. Dans ces exemples (voir les études de cas), conserver la vapeur signifie conserver la chaleur et réaliser des économies d'énergie.

Souvent, les gaz à l'air servent au transport de l'énergie d'où l'importance de contrôler leur débit.

Sans gaspillage, pas de pénurie!

Il va sans dire qu'il faut faire un effort afin d'économiser le plus possible dans tous les procédés. Si l'on peut filtrer et utiliser l'effluent à nouveau, tant mieux. De grandes étapes ont été franchies au cours des dernières années en ce qui a trait à l'osmose inverse et à d'autres techniques permettant de diminuer de beaucoup la quantité de déchets, qui, à une certaine époque, devaient être transportés ailleurs par camions. Ce n'est pas dans dix ans qu'il faudra appliquer cette technologie; les investissements peuvent se justifier aujourd'hui même par les économies qu'ils font réaliser.

Même lorsqu'il n'est pas nécessaire d'encourir des coûts de transport par camion pour éliminer les effluents, pourquoi les gaspiller ou ne les employer qu'une seule fois, s'il est possible de les recirculer? Dans la publication portant sur la gestion de la vapeur, on vante les mérites de la récupération des condensats dans le cas des chaudières. Et le même genre de raisonnement est valable en ce qui a trait aux applications des procédés.

L'eau figure probablement en tête de la liste des produits les plus souvent gaspillés inutilement. Très souvent, après un seul usage, on jette de l'eau chaude de toute sorte à l'égout. Dans de nombreux cas, cette eau pourrait servir d'eau d'alimentation pour un autre procédé. Dans d'autres, on peut en extraire le plus de chaleur sensible possible au moyen d'un échangeur avant de l'éliminer. Encore, lorsqu'elle a accumulé une grande quantité de chaleur pour laquelle il n'y a aucun besoin immédiat, on peut l'entreposer dans une tour de réfrigération et s'en servir à nouveau (voir les études de cas).

On peut établir des parallèles étonnants entre la conservation de l'énergie et celle de l'eau. À un moment donné, on croyait ces deux produits abondants et économiques et on les gaspillait. L'eau ne figure pas encore sur la liste des produits en voie de disparition au même titre que l'énergie, mais elle suit de près, et par de sages décisions de la part des entreprises et, en appliquant dans certains cas des contrôles municipaux, on voit à sa conservation partout lorsqu'on peut le faire.

La récupération de la chaleur — la grande frontière

L'imagination est un atout important pour celui qui étudie la façon d'utiliser l'énergie dans les applications des procédés. Les mesures correctrices ou les conceptions nouvelles sont presque illimitées. De plus, chacune des applications fondamentales engendre des centaines de modifications mineures qui peuvent être nécessaires pour satisfaire aux conditions d'une usine donnée.

En supposant que le matériel est bien conçu, bien entretenu et utilisé convenablement, une autre question importante surgit, celle de la récupération de la chaleur. De fait, les possibilités dans ce domaine sont si vastes que nous n'avons pas tenté de cerner le sujet dans une seule publication. Pour n'en citer que quelques-unes, dans certains projets de récupération de l'énergie, la chaleur des gaz de carneau est utilisée pour préchauffer l'air d'appoint des bâtiments, ou encore, l'air d'échappement des fours sert à en préchauffer l'air d'entrée et dans d'autres, la vapeur de décompression est employée pour réchauffer l'air ou un certain nombre de produits. À ce sujet, la liste est longue.

Aux fins d'organisation, les cas pertinents qui seront étudiés dans les deuxième, troisième, cinquième ou sixième publications de la série ont été divisés selon le secteur touché le plus directement.

En général, ceux qui se rapportent à la récupération de la vapeur de compression ou des condensats figurent dans la publication traitant de la vapeur; ceux qui se rapportent au chauffage des locaux se trouvent dans celle traitant du chauffage, de l'éclairage et du conditionnement de l'air; ceux qui ont trait à la combustion sont dans la publication portant sur le contrôle de la combustion. Un coup d'oeil sur la table des matières est le meilleur moyen de repérer des informations dans un domaine spécifique.

Dans le présent fascicule, les études de cas se rapportent généralement à la récupération de la chaleur dans les cas où la chaleur est obtenue d'un procédé industriel ou lui est rendue.

Cependant, il faut souligner dès le début que les meilleurs systèmes de récupération de la chaleur sont ceux dans lesquels il n'y a aucun intermédiaire d'échange. Alors que dans certaines circonstances, le taux d'efficacité d'un échangeur peut atteindre 80 pour cent, aucun échangeur ne peut faire concurrence au recyclage direct lorsque celui-ci est possible.

Ainsi, lorsque dans un procédé de lavage, on peut diriger vers la zone de rectification les gaz de carneau propres venant d'un sécheur afin de présécher les pièces métalliques, l'efficacité thermique se rapproche le plus possible de 100 pour cent. De la même façon lorsqu'on peut filtrer ou nettoyer par électrofiltrage de l'air chaud provenant de n'importe quelle source et l'utiliser pour chauffer

l'air d'un bâtiment, l'efficacité est supérieure à celle qu'on peut obtenir en récupérant de la chaleur par des moyens mécaniques.

Ceci est particulièrement vrai dans le cas de l'eau de refroidissement des compresseurs d'air et des soudeuses par points, eau qui peut servir de façon très profitable d'eau d'alimentation pour les chaudières, les procédés de lavage ou autres applications directes. Et la façon la plus économique d'acheminer le condensat de vapeur vers la chaudière consiste à le faire après qu'il a cédé sa vapeur de décompression pour qu'elle soit utilisée dans des systèmes à vapeur sous basse pression ou dans d'autres applications. Cependant, il est impossible, pour des raisons évidentes, de faire recirculer directement toutes les sources de chaleurs perdues.

Dans plusieurs cas, le gaz ou le liquide chaud contient des impuretés qu'il est impossible d'éliminer de façon simple et économique. C'est là que le matériel de récupération de la chaleur devient une nécessité.

Les divers appareils de récupération de la chaleur

Les échangeurs de chaleur industriels portent plusieurs noms. On les appelle récupérateurs, regénérateurs, générateurs de récupération des chaleurs perdues, condenseurs, roues thermiques, échangeurs de température et d'humidité. Cependant, quel que soit le nom de l'appareil, sa fonction ne change pas: il sert à récupérer la chaleur.

On peut classer les échangeurs de chaleur en échangeurs simples ou à plusieurs parcours, échangeurs gaz-gaz, liquide-gaz ou liquide-liquide, en évaporateurs, condenseurs, échangeurs à courants parallèles, échangeurs à courants parallèles opposés ou à courants croisés. Les termes simples ou à plusieurs parcours se rapportent à l'agent de réchauffage ou de refroidissement qui passe une fois ou plusieurs fois au-dessus de la surface de transmission de la chaleur. Les échangeurs à plusieurs parcours doivent être munis de chicanes intérieures. Les trois termes qui suivent réfèrent aux deux fluides qui font l'objet du transfert de chaleur dans l'échangeur et ils indiquent que les fluides ne subissent aucun déphasage. Le mot "fluide" est employé ici dans son sens le plus général. Cependant, tous ces termes s'appliquent à des échangeurs de chaleur dans lesquels il ne se produit ni évaporation ni condensation.

Le terme "évaporateur" désigne un échangeur de chaleur dans lequel la chaleur est transmise à un liquide (en ébullition) qui s'évapore alors qu'un condenseur est un appareil dans lequel la chaleur est retirée d'une vapeur qui se condense. Dans un échangeur à courants parallèles, les deux fluides circulent approximativement dans la même direction alors que dans un échangeur à courants parallèles opposés l'écoulement des liquides se fait dans deux directions opposées. Lorsque les deux fluides ont un écoulement perpendiculaire, l'échangeur est appelé échangeur à courants croisés.

Les principales méthodes de récupération des chaleurs perdues dans les usines de transformation font usage des échangeurs de chaleur. En soi, un échangeur de chaleur est un système qui sépare le circuit contenant la chaleur perdue et l'agent qui doit l'absorber mais qui permet à la chaleur de passer de l'un à l'autre. Les deux fluides peuvent être séparés pour plusieurs raisons:

- Il peut exister une différence de pression entre les deux fluides. Les parois rigides de l'échangeur peuvent être conçues de façon à supporter la différence de pression.
- Dans plusieurs cas, sinon tous, un des fluides contaminerait le deuxième s'ils étaient en contact. L'échangeur prévient alors le mélange.
- Les échangeurs permettent d'employer un fluide intermédiaire mieux adapté qu'aucun des principaux agents d'échange pour transporter la chaleur perdue à de grandes distances. Très souvent, c'est de la vapeur qui constitue le fluide secondaire mais une autre substance peut être choisie pour ses qualités spéciales.
- Certains types d'échangeurs de chaleur, notamment la roue thermique dessicante, peuvent transférer l'humidité aussi bien que la chaleur. Les vapeurs refroidies dans les gaz sont condensées dans la roue et évaporées à nouveau ultérieurement dans le gaz chauffé. Ce procédé permet un meilleur contrôle de l'humidité, il contribue à réduire la pollution atmosphérique et aide à la conservation de précieuses ressources.

Ce sont les tentatives ayant pour but de décrire les fonctions des échangeurs de chaleur de même que les traditions dans certaines industries qui sont à l'origine des diverses appellations de ces appareils. Ainsi, un récupérateur est un échangeur de chaleur qui récupère la chaleur perdue contenue dans les gaz d'échappement d'une chaudière pour réchauffer l'air d'entrée pour la combustion. Ce nom est employé dans l'industrie sidérurgique et du verre. L'appareil qui remplit les mêmes fonctions dans le générateur de vapeur d'une centrale électrique est appelé préchauffeur d'air et dans le cas d'une usine à turbine à gaz, regénérateur.

Cependant, les industries de l'acier et du verre emploient le mot regénérateur pour désigner deux chambres d'empilages de briques qui absorbent à tour de rôle la chaleur provenant des gaz d'échappement, puis cèdent une partie de la chaleur absorbée à l'air d'entrée. Périodiquement, des soupapes inversent les débits des gaz brûlés et d'air de sorte qu'une des chambres du regénérateur est réchauffée par les produits de combustion pendant que l'autre est refroidie par l'air d'entrée. L'achat et l'entretien d'un regénérateur est souvent plus onéreux que le prix d'un récupérateur et

on l'utilise principalement dans un réservoir de fusion du verre et dans un four Martin-Bessemer en acier.

Il faut cependant souligner que même si les trois échangeurs de chaleur mentionnés peuvent remplir des fonctions similaires, leur structure comme leur mode de transmission de la chaleur peuvent être différentes. Plus loin dans le présent chapitre, on trouve une description complète des divers échangeurs de chaleur industriels et leur différence sont précisées.

Les spécifications d'un échangeur de chaleur doivent comprendre la capacité d'échange thermique, la température des fluides, la perte de charge autorisée dans le parcours de chacun des fluides ainsi que les propriétés et l'écoulement volumique de chacun des fluides d'entrée. Ces spécifications servent à établir les paramètres de construction et le coût de l'échangeur. La conception finale est le résultat d'un compromis entre la perte de charge, l'efficacité de l'échangeur et le coût. Les décisions conduisant à la conception finale doivent équilibrer les coûts d'entretien et d'opération par rapport aux coûts fixes afin de réduire l'investissement total. Les agents distributeurs sont en mesure de fournir des conseils sur le choix et la conception d'un échangeur.

Les paramètres qu'il est essentiel de connaître afin de prendre la meilleure décision quant au choix d'un appareil de récupération de la chaleur sont les suivants:

- la température du fluide chauffant
- le taux d'écoulement du fluide chauffant
- la composition chimique du fluide chauffant
- la température minimale autorisée du fluide chauffant
- la température du fluide chauffé
- la composition chimique du fluide chauffé
- la température maximale autorisée du fluide chauffé
- la température de contrôle, s'il y a lieu.

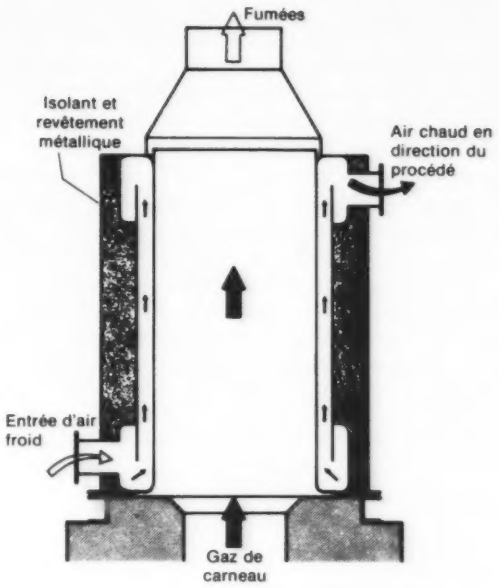
Les échangeurs thermiques gaz-gaz

1. Les récupérateurs

Dans sa plus simple configuration, un échangeur thermique est constitué d'un récupérateur métallique par rayonnement qui comprend deux longueurs concentriques de tubes métalliques tel qu'illustré.

Le tube intérieur transporte les gaz chauds qui s'échappent alors que l'anneau extérieur achemine l'air de combustion de l'atmosphère aux entrées d'air des brûleurs du four. Les gaz chauds sont refroidis par l'air de combustion qui entre et qui apporte alors de l'énergie supplémentaire à la

Récupérateur métallique par rayonnement



chambre de combustion. Cette énergie n'a pas à être fournie par le combustible; par conséquent, la consommation de combustible est moindre au cours d'un chargement donné.

L'économie de combustible entraîne également une diminution de l'air de combustion et, par conséquent, les pertes à la cheminée sont réduites non seulement à cause de la diminution de la température du gaz de la cheminée mais également à cause de l'élimination de plus petites quantités de gaz d'échappement. Ce récupérateur particulier tient son nom du fait qu'une partie substantielle de la transmission de la chaleur des gaz chauds à la surface du tube intérieur s'effectue par rayonnement. L'air froid de l'anneau n'est cependant pas affecté par les radiations infrarouges et, par conséquent, ce n'est que la transmission de chaleur par convection qui se produit dans l'air d'arrivée.

Comme le montre le diagramme, les courants des deux gaz sont habituellement parallèles quoique la configuration serait simplifiée et la transmission de la chaleur plus efficace si ces courants étaient opposés (contre-courant). Les courants parallèles sont souvent employés parce que les récupérateurs remplissent fréquemment la fonction supplémentaire de refroidir la gaine d'échappement et, conséquemment, prolongent sa durée utile.

Souvent, l'intérieur des tubes est fabriqué d'un matériau dont la résistance aux températures extrêmes comme l'acier inoxydable à haute teneur de nickel est élevée. On obtient ainsi un coefficient de dilatation thermique élevé vue que l'extérieur des tubes est généralement fait d'un matériau moins coûteux. On doit tenir compte de cet effet dans la conception mécanique. Certains récupérateurs à rayonnement plus complexes

comprennent deux sections: la section inférieure à courants parallèles et la section supérieure à courants opposés qui sont plus efficaces. À cause des grandes dilatations longitudinales et des contraintes qui s'exercent au fond du récupérateur, l'appareil est souvent soutenu à son extrémité supérieure par un câdre d'appui libre, et un joint sec relie le four au récupérateur.

Les récupérateurs à convection ou du type à calandre multitubulaire forment le deuxième groupe commun de récupérateurs. Comme l'indique le schéma, les gaz chauds circulent dans plusieurs tubes parallèles de petit diamètre pendant que la chaleur qui arrive pénètre dans une enveloppe entourant les tubes et passe au-dessus des tubes une ou plusieurs fois dans une direction perpendiculaire à leur axe.

Si les tubes sont munis d'une chicane pour permettre au gaz de traverser deux fois l'échangeur, le récupérateur est dit à deux parcours; si deux chicanes sont utilisées, il est à trois parcours, etc. Malgré l'augmentation du coût et de la perte de charge du débit d'air comburant entraînée par l'utilisation de chicanes, l'efficacité thermique de ces récupérateurs en est améliorée. Les récupérateurs à calandre multitubulaire sont généralement plus compacts et plus efficaces que les récupérateurs à rayonnement vue que l'emploi de plusieurs tubes et de plusieurs parcours de gaz augmente la transmission thermique.

La réduction de la résistance de la paroi intérieure à des températures supérieures à 1040° C constitue la principale limite des récupérateurs métalliques relativement à la récupération de la chaleur. Afin de refroidir suffisamment la paroi intérieure lorsque la température atteint ce niveau, il faut recourir à un échangeur dans lequel le gaz d'échappement et l'agent de refroidissement circulent dans des tubes parallèles, ce qui est cependant moins efficace. De plus, lorsque le débit d'air comburant du four diminue à cause d'un chargement réduit, le coefficient de transmission de chaleur des gaz de fumées servant à préchauffer l'air comburant devient excessif provoquant ainsi une détérioration rapide de la surface. Un dispositif de dérivation de l'air ambiant est habituellement nécessaire pour refroidir les gaz d'échappement.

Afin de contourner le problème de résistance des récupérateurs métalliques, on a mis au point des récupérateurs à tubes en céramique dont le matériau du côté exposé aux fumées tolère des températures allant jusqu'à 1448° C et, du côté de l'air préchauffé, jusqu'à 1134° C sur une base expérimentale et jusqu'à 780° C sur une base plus ou moins pratique. Les premiers récupérateurs en céramique étaient en tuiles jointes par du ciment à four mais le recyclage thermique provoquait la fissuration des joints et une détérioration rapide des tubes. Plus tard, on mit au point divers tubes en carborundum qui pouvaient être reliés par des joints flexibles montés dans les collecteurs d'air.

Dans le modèle breveté représenté, les joints sont maintenus à une température relativement basse, ce qui réduit grandement le taux de fuite.

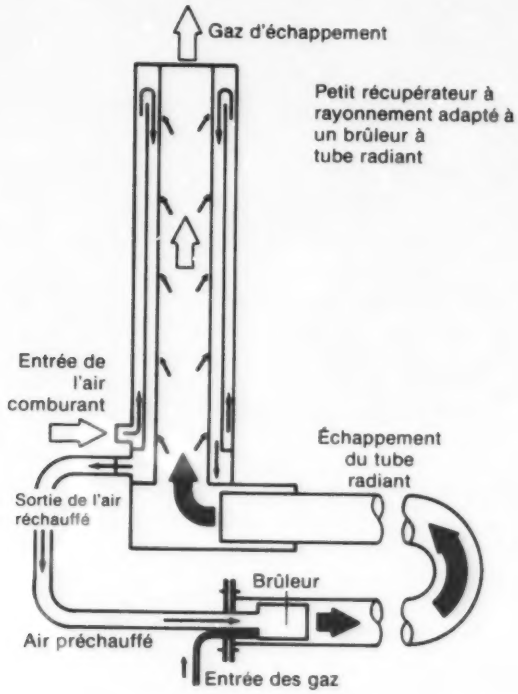
Dans les modèles conçus antérieurement, les taux de fuite variaient entre 8 et 60 pour cent. Les nouveaux échangeurs ont une durée utile de deux ans avec des températures de préchauffage allant jusqu'à 669° C et un taux de fuite beaucoup moindre.

On voit également sous forme schématique un récupérateur de type à convection dont la disposition est différente. Dans ce modèle, l'air comburant froid est réchauffé dans une banque de tubes verticaux parallèles qui se prolongent dans le courant de fumées. Cette disposition permet de remplacer les tubes individuels très facilement pendant que la chaudière fonctionne à plein rendement réduisant ainsi les coûts et les inconvénients ainsi que les dommages possibles à la chaudière dans le cas d'un arrêt provoqué par une panne du récupérateur.

On peut obtenir une efficacité maximale en combinant un récupérateur à rayonnement et un autre à convection, ce dernier étant toujours employé après le récupérateur à rayonnement résistant aux températures élevées. Cette disposition est représentée de façon schématique dans le diagramme.

Bien que leur emploi permette la conservation de combustible dans les chaudières industrielles et que leur prix initial soit relativement modeste, l'achat d'un récupérateur n'est souvent que le début d'un programme d'envergure d'améliorations majeures. Ainsi, l'emploi d'un récupérateur qui élève la température de l'air comburant d'arrivée peut nécessiter l'achat de brûleurs à haute température, de conduites d'air à diamètre plus grand munies de raccords flexibles pour permettre la dilatation, de conduites d'air froid pour les brûleurs, de dispositifs modifiés de contrôle de la combustion pouvant maintenir le rapport air/combustible du récupérateur quel que soit son chauffage, de volets de cheminée, de purgeurs d'air froid, de contrôles de protection du récupérateur en cas de panne du compresseur ou de courant et enfin, de ventilateurs plus gros pour compenser la perte de charge additionnelle que subit le récupérateur. Il est essentiel de protéger le récupérateur contre les dommages résultant de températures élevées car le coût de remise en état d'un récupérateur endommagé peut atteindre jusqu'à 90 pour cent du prix de fabrication initial et la baisse d'efficacité peut facilement accroître les dépenses de combustible de 10 à 15 pour cent.

Le schéma représente un récupérateur à rayonnement adapté à un brûleur à tube radiant. Pour que l'efficacité de l'échange thermique atteigne un niveau acceptable, il faut utiliser, avec une cheminée aussi courte, deux anneaux pour l'air d'arrivée.



Les récupérateurs servent à récupérer la chaleur des gaz d'échappement afin de chauffer d'autres gaz à des températures moyennes et élevées. Voici quelques-unes de leurs applications typiques: fours d'égalisation, fours à recuire, fours de fusion, dispositifs de post-combustion, incinérateurs à gaz, brûleurs à tubes radiants, fours à réchauffage et autres applications de récupération de la chaleur perdue au moyen d'appareils gaz-gaz de température moyenne et élevée.

2. Les roues thermiques

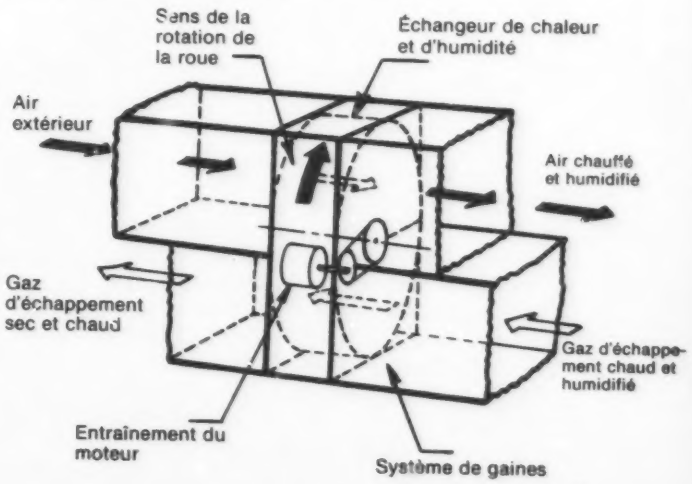
On utilise de plus en plus souvent un regénérateur rotatif (appelé parfois réchauffeur d'air ou roue thermique) pour récupérer la chaleur perdue à des températures moyennes et élevées. Comme on le voit dans le schéma, il s'agit d'un disque poreux assez gros fabriqué d'un matériau dont la résistance à la chaleur est relativement élevée. Il tourne entre deux conduits, l'un d'air froid et l'autre d'air chaud, placés côte à côte. L'axe de la roue est parallèle aux conduits sur la cloison de séparation.

Pendant la rotation de la roue, la chaleur sensible (et dans certains cas, de l'humidité contenant de la chaleur latente) est transmise au matériau par l'air chaud et en est retirée par l'air froid.

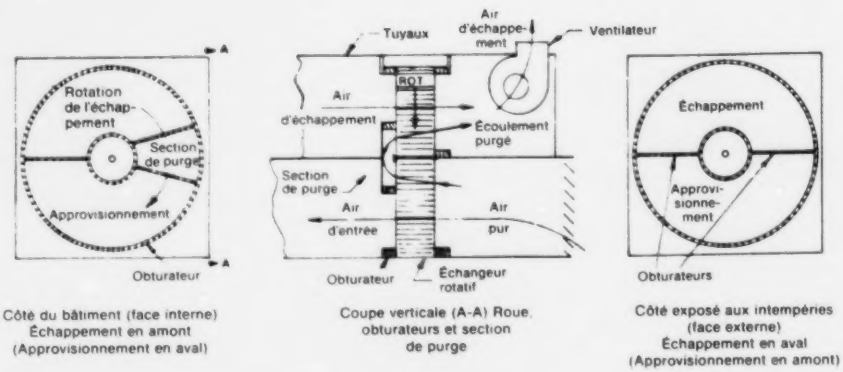
L'efficacité globale de la transmission de la chaleur sensible peut atteindre 80 pour cent. Il existe des roues thermiques ayant jusqu'à 12 pieds de diamètre et des capacités d'air de 60 000 pieds cubes à la minute. On peut utiliser plusieurs unités en parallèle. Dans de très grandes installations comme celles servant au préchauffage des stations de combustion, les appareils sont fabriqués sur commande. On peut se procurer quatre types de roues thermiques. Le premier modèle consiste en un cadre métallique dont le noyau est garni de fils tressés en acier inoxydable ou en aluminium (ressemblance avec un tampon de récurage domestique); le deuxième, nommé roue laminaire est en métal ondulé et se compose de plusieurs parcours parallèles; le modèle suivant est également une roue laminaire mais elle est dotée d'une matrice en céramique ou d'une configuration alvéolaire. Ce modèle sert aux applications à plus haute température dont la limite actuelle est de 818° C approximativement. Le quatrième modèle est caractérisé par une construction laminaire mais les conduits d'écoulement sont recouverts d'un matériau hydroscopique ou dessicant qui permet de récupérer la chaleur latente. Divers matériaux peuvent être utilisés comme garniture de la roue dessicante.

Étant donné que la vapeur d'eau est un produit de la combustion de tous les hydrocarbures, vu qu'une certaine quantité d'eau est introduite dans plusieurs procédés industriels et qu'une partie de l'eau de traitement s'évapore lorsqu'elle est exposée au courant de gaz chauds, la plupart des fumées industrielles contiennent de la vapeur d'eau. Il faut approximativement 1 000 BTU pour évaporer une livre d'eau à la pression atmosphérique; ainsi, chaque livre de vapeur d'eau évacuée emporte avec elle 1 000 BTU d'énergie. Cette chaleur latente peut représenter une fraction de l'énergie sensible dans le courant de gaz évacué. Un matériau hydroscopique comme le chlorure de lithium absorbe facilement la vapeur d'eau et dans une roue thermique hydroscopique, le courant de gaz chauds cède une partie de sa vapeur d'eau au revêtement de chlorure de lithium. Les gaz froids qui pénètrent dans la roue pour y être réchauffés sont plus secs que ceux dans la gaine d'échappement, et une partie de l'eau absorbée est transmise au courant de gaz entrant. L'efficacité de la récupération de la vapeur d'eau peut atteindre 60 pour cent.

Récupération de la chaleur et de l'humidité au moyen d'un regénérateur du type de la roue thermique



Roue thermique munie d'une section de purge servant à éliminer les impuretés de la surface de transmission de la chaleur.



Côté du bâtiment (face interne)
Échappement en amont
(Approvisionnement en aval)

Coupe verticale (A-A) Roue, obturateurs et section de purge

Côté exposé aux intempéries (face externe)
Échappement en aval
(Approvisionnement en amont)

Étant donné que les pores des roues thermiques transfèrent une petite quantité de gaz de la gaine d'échappement à celle d'arrivée, il peut y avoir contamination mutuelle. Si celle-ci est indésirable, on peut éliminer partiellement les entraînements des gaz d'échappement en ajoutant une section de purge dans laquelle une petite quantité d'air propre est soufflée à travers la roue et évacué dans l'atmosphère, ce qui libère les conduites des fumées. Les caractéristiques d'une installation munies d'un purgeur sont représentées dans le diagramme.

Pour prévenir le gel pendant les périodes d'humidité élevée et de températures inférieures à zéro où les roues thermiques utilisent l'air extérieur, des systèmes de préchauffage peuvent être nécessaires. Lorsque les gaz contiennent des impuretés solubles dans l'eau, graisseuses ou adhésives, ou de grandes concentrations de poussières de traitement, il faut parfois placer des filtres à air dans le système d'échappement en amont de la roue thermique.

Une des applications des roues thermiques est le chauffage des locaux où des quantités exceptionnellement grandes d'air de ventilation sont requises pour des raisons de santé ou de sécurité. Pour éliminer des gaz toxiques ou empêcher l'accumulation de mélanges détonants, il faut parfois changer l'air aussi souvent que 20 ou 30 fois par heure. Les coûts du chauffage requis pour obtenir une telle quantité d'air de ventilation sont souvent assez élevés pour rendre économique l'emploi de roues thermiques. L'été, la roue peut servir à refroidir l'air d'arrivée de l'air d'échappement froid réduisant jusqu'à 50 pour cent la charge de climatisation de l'air.

Il faut souligner qu'en maintes circonstances où la présence d'une grande quantité d'air de conditionnement est obligatoire, l'emploi de systèmes locaux de ventilation peut s'avérer une meilleure solution pour réduire les risques.

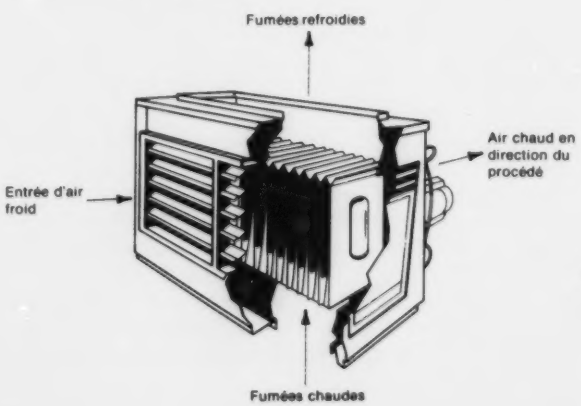
On trouve des applications de plus en plus nombreuses aux roues thermiques pour la récupération de la chaleur dans des milieux à température basse ou modérée. Quelques-unes de ces applications sont les fours de séchage ou les étuves et les réchauffeurs d'air de toutes dimensions pour les chaudières industrielles et les chaudières utilitaires.

3. Les réchauffeurs d'air (à plaques parallèles)

Des regénérateurs gaz-gaz passifs appelés parfois réchauffeurs d'air ou échangeurs à déflecteurs sont disponibles lorsqu'on ne peut tolérer aucune contamination mutuelle. Ces appareils consistent en étroit contact avec les gaz à chauffer et qui ne les séparent que par une mince paroi de métal conducteur. Ils sont plus volumineux et plus dispendieux à construire que les roues thermiques étant donné qu'une plus grande surface de transmission de la chaleur est requise pour obtenir la même efficacité.

En plus d'éliminer la contamination mutuelle, les réchauffeurs d'air qui n'exigent aucun mécanisme de commande ont l'avantage du point de vue mécanique d'être moins complexes que les roues. Cependant, la regénération passive rend le contrôle de la température plus difficile et dans les cas où ce contrôle est essentiel, elle fait disparaître certains avantages dus à sa simplicité élémentaire.

Regénérateur gaz-gaz passif



Les regénérateurs gaz-gaz servent à récupérer la chaleur des gaz d'échappement pour réchauffer d'autres gaz de températures basses ou moyennes. Parmi les applications typiques, on trouve:

- la récupération de la chaleur des systèmes de chauffage des locaux et de ventilation
- la réduction des charges des appareils de conditionnement de l'air des bâtiments
- la récupération de la chaleur des gaz d'échappement des chaudières à vapeur
- la récupération de la chaleur des incinérateurs à gaz et à vapeur
- la récupération de la chaleur des fours à cuisson, des fours à séchages et des étuves
- la récupération de la chaleur des fumées de turbines à gaz
- la récupération de la chaleur d'autres appareils gaz-gaz à des températures basses ou élevées

4. Les échangeurs de chaleur tubulaires

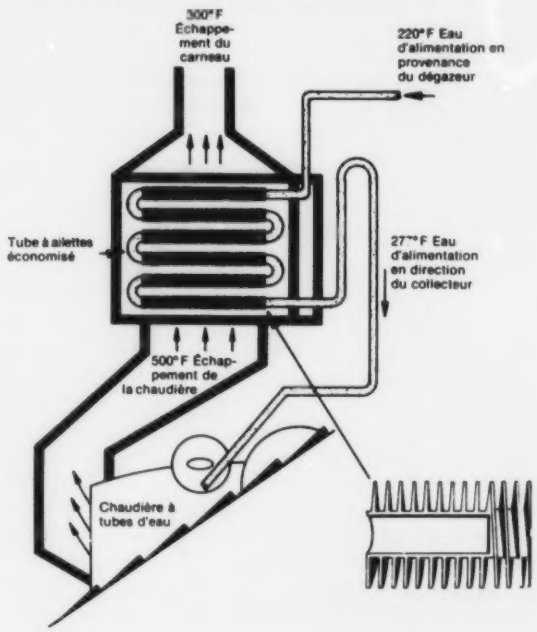
Le tube thermique est un élément de transmission thermique dont la commercialisation est récente mais qui est prometteur à titre de récupérateur de chaleur à cause de sa grande efficacité et de son encombrement réduit. Il fonctionne comme un regénérateur tubulaire gaz-gaz passif à ailettes. Comme on le voit dans le diagramme, les éléments forment un faisceau de tubes thermiques qui s'étendent dans les gaines d'entrée et de sortie suivant le principe de l'échangeur thermique structuré à serpentins munis d'ailettes. Cependant, chacun des conduits est un élément individuel hermétique qui consiste en une mèche annulaire à l'intérieur du tube sur toute sa longueur, et dans lesquelles est scellé le fluide approprié.

La chaleur des gaz d'échappement chauds qui est absorbée évapore le fluide à une extrémité, ce qui force la vapeur à se déplacer vers l'autre extrémité. La chaleur de vaporisation latente est transportée dans la vapeur à l'extrémité froide du tube thermique situé dans la gaine de gaz froid. Là, la vapeur se condense en cédant sa chaleur latente. Le liquide condensé est alors ramené par action capillaire (ou par gravité) jusqu'à l'extrémité chaude où il est recirculé.

Employé tel que conçu, l'échangeur tubulaire est compact et efficace parce que le faisceau de tubes à ailettes constitue en soi une bonne configuration pour la transmission de la chaleur par convection dans les deux gaines et le cycle d'évaporation et de condensation à l'intérieur des tubes constitue un moyen très efficace de transmettre la chaleur par l'intérieur. De plus, la contamination mutuelle est inexistante. Les applications possibles comprennent:

- les fours de séchage, les étuves, les fours à cuisson (la récupération des chaleurs perdues)
- la récupération de la chaleur de la vapeur d'eau

Regénérateur tubulaire gaz-liquide (économiseur)



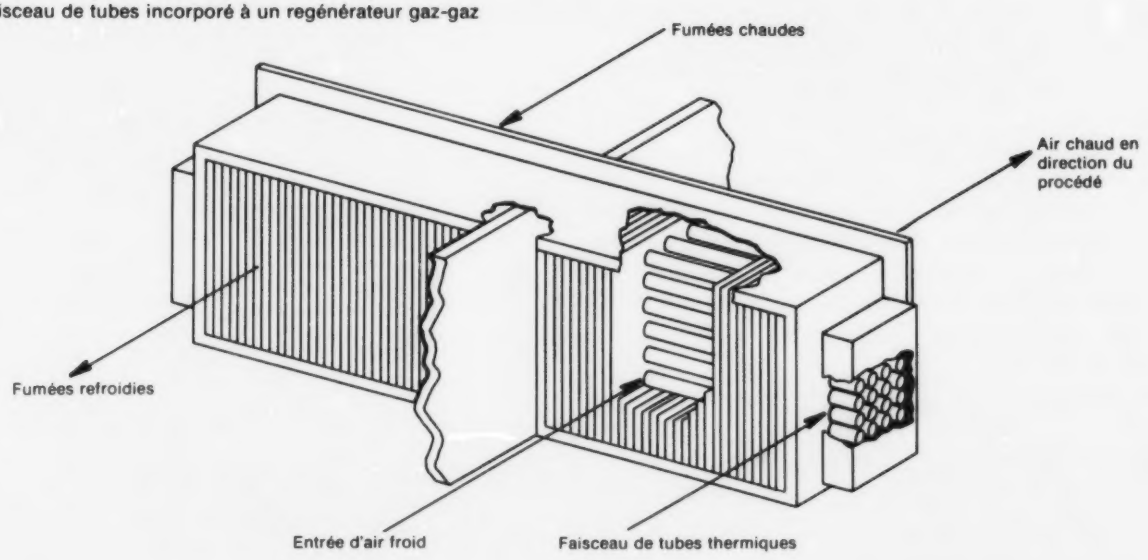
- le préchauffage de l'air comburant des chaudières
- les sécheurs d'air
- les fours à briques (récupération secondaire)
- les fours à réverbère (récupération secondaire)
- la réduction de la charge des systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air
- le refroidissement des matrices et des roulements
- le transfert de l'échappement des moteurs à la prise d'air du carburateur.

Les régénérateurs gaz-liquide ou liquide-liquide

1. Les échangeurs de chaleur tubulaires à ailettes

On emploie généralement l'échangeur de chaleur tubulaire à ailettes lorsqu'il s'agit de récupérer les chaleurs perdues des gaz d'échappement qui servent au réchauffage de l'eau domestique, de l'eau d'alimentation des chaudières à vapeur ou au chauffage des locaux par eau chaude. Des tubes circulaires sont reliés en un faisceau contenant le liquide chauffé et des ailettes sont fixées par soudage ou autrement à l'extérieur des tubes afin de fournir une surface supplémentaire pour l'extraction de la chaleur perdue des gaz. La disposition habituelle de l'échangeur tubulaire à ailettes placé dans une gaine est représentée dans le diagramme de même que les détails de la fabrication d'un tel appareil. Cette application particulière est plus

Faisceau de tubes incorporé à un regénérateur gaz-gaz



communément connue sous le nom d'économiseur. Les tubes sont souvent tous reliés en série mais peuvent également être disposés en faisceaux de séries parallèles pour contrôler la perte de charge du côté du liquide. L'espacement des tubes et le nombre de rangées à l'intérieur de la gaine permettent de contrôler la perte de charge du côté de l'air.

Les échangeurs tubulaires à ailettes sont disponibles en formats modulaires pré-emballés ou peuvent être fabriqués sur commande à partir d'éléments normalisés. Le contrôle de la température du liquide chauffé s'effectue au moyen d'un système de dérivation qui fait varier le débit des gaz chauds au-dessus de l'échangeur. Les tubes et ailettes peuvent être fabriqués avec des matériaux choisis en fonction de leur résistance aux liquides et aux gaz d'échappement corrosifs.

Les échangeurs tubulaires à ailettes servent à récupérer la chaleur perdue des gaz d'échappement à des températures variant de basses à moyennes afin de réchauffer des liquides. Les applications caractéristiques sont: le réchauffage de l'eau chaude, le réchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, le chauffage des locaux par l'eau chaude, les appareils à absorption et le réchauffage des liquides de traitement.

2. L'échangeur à calandre

Lorsque la chaleur perdue à l'état gazeux ou liquide sert à réchauffer un autre liquide, il faut employer un échangeur à calandre car les deux parcours doivent être scellés afin de retenir les pressions de leurs fluides respectifs. Le faisceau de tubes se trouve dans l'enveloppe habituellement munie de chicanes intérieures servant à faire circuler le fluide plusieurs fois dans des directions différentes au-dessus des tubes. En soi, la résistance de l'enveloppe est inférieure à celle des tubes; par conséquent, les tubes contiennent le fluide dont la pression est supérieure alors que le fluide dont la pression est inférieure circule à l'intérieur de l'enveloppe.

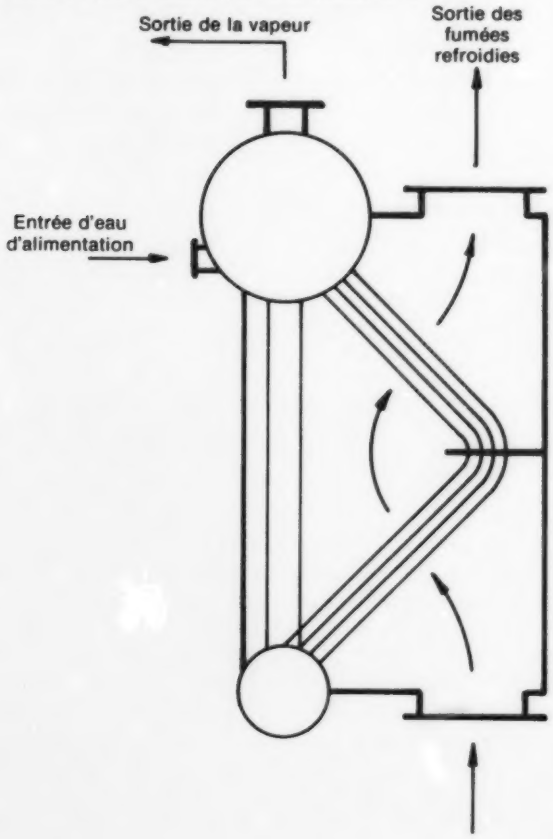
La chaleur perdue à l'état gazeux se condense, cédant ainsi sa chaleur latente au liquide qui est réchauffé. Dans cette application, la vapeur est presque invariablement contenue dans l'enveloppe. Dans le cas inverse, la condensation de la vapeur à l'intérieur des tubes parallèles de petit diamètre nuit à la stabilité du débit. Des échangeurs à calandre sont disponibles sous une grande variété de tailles normalisées et plusieurs combinaisons de matériaux pour la fabrication des tubes et enveloppes.

Parmi les applications typiques figurent le réchauffage de liquides au moyen de la chaleur contenue dans les condensats des systèmes de réfrigération et de conditionnement de l'air, dans les condensats des vapeurs de traitement, dans les agents de refroidissement des portes de fours, des grilles et des supports pour tubes, dans les agents de refroidissement des moteurs, des compresseurs d'air, des roulements et des lubrifiants et dans les condensats des procédés de distillation.

3. Les chaudières de récupération des chaleurs perdues

Ordinairement, les chaudières de récupération des chaleurs perdues sont des chaudières à tubes d'eau dans lesquelles les gaz d'échappement chauds des turbines à gaz et des incinérateurs entre autres circulent au-dessus de tubes parallèles contenant de l'eau. L'eau est vaporisée dans les tubes et recueillie dans un collecteur d'où elle est extraite pour servir de vapeur de chauffage ou de traitement. Le diagramme montre une des dispositions possibles: les gaz d'échappement passent deux fois au-dessus des tubes d'eau avant de s'échapper dans l'air. La température des gaz d'échappement étant habituellement moyenne et afin d'économiser l'espace, on peut produire une chaudière plus

Chaudière de récupération de l'humidité utilisée pour récupérer la chaleur des turbines à gaz ou des incinérateurs



compacte en munissant les tubes d'ailettes pour augmenter la transmission thermique du côté des gaz. Le diagramme montre un réservoir à boue, un ensemble de tubes au-dessus desquels les gaz chauds effectuent deux parcours et un collecteur de vapeur qui recueille la vapeur générée au-dessus de la surface de l'eau.

La pression sous laquelle la vapeur est produite et la vitesse de production de la vapeur dépendent de la température des gaz chauds qui entrent dans la chaudière, de leur débit et de l'efficacité de l'échangeur.

Si les chaleurs perdues des gaz d'échappement ne suffisent pas à produire la quantité nécessaire de vapeur de traitement, on peut parfois ajouter des brûleurs auxiliaires qui brûlent le combustible dans la chaudière de récupération, ou encore ajouter un dispositif de post-combustion à la gaine des gaz d'échappement montée juste à l'entrée de la chaudière.

Il existe des chaudières de récupération dont la capacité varie entre moins de mille et près d'un million de pieds cubes de gaz d'échappement à la minute et elles servent à la récupération de l'énergie des échappements des turbines à gaz, des moteurs à piston, des incinérateurs et des tours.

4. Les expandeurs à vapeur et à gaz

Les turbines industrielles à gaz et à vapeur sont à un stade de développement avancé et on peut s'en procurer facilement sur une base commerciale. Depuis peu, des turbines à gaz spécialement conçues pour les gaz à basse pression sont disponibles par exemple, on peut se procurer une turbine qui fonctionne à partir des gaz de gueulard d'un haut fourneau. Dans ce cas, on peut produire jusqu'à 20 MW de puissance, ce qui représente une récupération de l'ordre de 20 à 30 pour cent de l'énergie disponible dans le débit du gaz d'échappement d'un four. Les charges maximales sont de l'ordre de 40 livres par pouce carré.

Les turbines à vapeur utilisées pour accomplir des travaux mécaniques et pour entraîner les générateurs d'électricité sont peut-être d'une plus grande applicabilité. Après l'extraction de l'énergie nécessaire aux travaux, la turbine à vapeur laisse s'échapper la vapeur partiellement utilisée sous une pression inférieure à celle d'entrée. L'énergie contenu dans le débit d'échappement de la turbine peut ensuite être utilisée comme chaleur conventionnelle de traitement de la manière habituelle.

Les turbines à vapeur font partie des turbines à contrepression disponibles avec pression de sortie supérieure à 400 livres par pouce carré, ou on les classe encore parmi les turbines à condensation qui fonctionnent sous une pression inférieure à la pression atmosphérique. Des chaudières de récupération ou à feu continu peuvent servir à la production de la vapeur nécessaire à l'entraînement des turbines. Voici quelques usages des expandeurs à gaz et à vapeur:

- production d'énergie électrique et vapeur de traitement
- entraînement des compresseurs et vapeur de traitement
- production d'énergie électrique et chauffage local par la vapeur
- entraînement de ventilateurs et production d'énergie

Le tableau de la page suivante représente sous forme matricielle quelques-unes des principales caractéristiques de divers échangeurs thermiques industriels disponibles. Cette matrice permet de comparer rapidement les divers échangeurs sur le marché. Pour chacun des types d'échangeur, le tableau fournit les caractéristiques suivantes: gamme de températures permissibles, capacité de transmission de l'humidité, résistance aux grandes variations de températures, possibilité de modification, compacité et combinaisons permissibles des fluides servant à l'échange thermique.

En ce qui concerne la récupération de l'humidité, il faut souligner que plusieurs échangeurs thermiques fonctionnant à basse température peuvent condenser les vapeurs contenues dans l'écoulement

des gaz refroidis. Il faut donc prendre des mesures afin de retirer ces condensats liquides de l'échangeur.

Le système liquide à circulation forcée

Le système liquide à circulation forcée est un système qui est toujours fabriqué sur commande en fonction des conditions locales. Comme le montre le diagramme, il comprend deux échangeurs liquide-air qui ressemblent au radiateur d'une automobile et qui sont reliés par deux tubes. Le circuit contient habituellement du glycol qui sert de véhicule de transmission et dont la circulation s'effectue par une pompe. Dans le cas présent, le glycol absorbe la chaleur de l'air d'échappement et la cède à l'échangeur dans la gaine d'arrivée.

Le système nécessite l'emploi de tuyauterie et d'une pompe à fonctionnement continu et il exige plus d'attention que les roues thermiques du type à plaques ou tubulaires. De plus, il ne peut transmettre que la chaleur sensible et son rendement est généralement inférieur à 50 pour cent.

Cependant, il comporte le grand avantage d'être utilisable là où la source et la demande de chaleur sont physiquement éloignée l'une de l'autre.

Caractéristiques du fonctionnement et des applications des échangeurs thermiques industriels

SPÉCIFICATIONS DES APPAREILS DE RÉCUPÉRATION / MATÉRIEL DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR DISPONIBLE SUR LE MARCHÉ	Basses températures: inférieures à zéro à 250° F	Températures intermédiaires: 250° F à 1 200° F	Températures élevées: 1 200° F à 2 000° F	Récupération de l'humidité	Résistance à de grandes variations de températures	Disponible en format préemballé	Possibilité de modification	Aucune contamination mutuelle	Taille compacte	Échangeur thermique gaz-gaz	Échangeur thermique gaz-liquide	Échangeur thermique liquide-liquide	Traitement de gaz corrosifs possible avec une construction spéciale
Récupérateur à rayonnement			●		●	1	●	●		●			●
Récupérateur à convection		●	●		●	●	●	●		●			●
Roue thermique métallique	●	●		2		●	●	3	●	●			●
Roue thermique hydroscopique	●			●		●	●	3	●	●			
Roue thermique en céramique		●	●		●	●	●		●	●			●
Régénérateur passif	●	●			●	●	●	●		●			●
Échangeur de chaleur tubulaire à ailettes	●	●			●	●	●	●	●		●		4
Échangeur à calandre	●	●			●	●	●	●	●		●	●	
Chaudière de récupération	●	●				●	●	●			●		4
Échangeur tubulaire	●	●			5	●	●	●	●	●			●

1. Les articles en stock ne sont disponibles qu'en petites quantités.
2. Cette question est controversée. Certains experts revendiquent la récupération de l'humidité, mais à notre avis, il ne faut pas y compter.
3. À l'aide d'une section de purge, on peut diminuer la contamination mutuelle à moins d'un pour cent de la masse.
4. L'appareil peut être construit en matériaux à l'épreuve de la corrosion mais il faut envisager des dommages considérables au matériel en cas de fuites ou de ruptures du tube.
5. Les gammes de températures permissibles et les résistances aux grandes variations de températures sont fonction des propriétés de l'équilibre de phase du liquide interne.

Plusieurs applications différentes sont rendues possibles par l'utilisation du système à circulation forcée au glycol qui recueille la chaleur de l'eau résiduelle ou du débit d'air. Dans le cas de l'étude qui figure dans la présente publication et qui porte sur l'application faite par la Société 3M Canada de London (Ontario), on trouve un exemple particulièrement fascinant des résultats rendus possibles par un peu d'ingéniosité appliquée à ce système.

L'efficacité de la récupération thermique

Les fabricants ne fournissent souvent qu'un seul chiffre pour exprimer le rendement d'une unité de récupération de chaleur. Cependant, dans une application donnée, il est sage de ne pas oublier la complexité du calcul de l'efficacité (particulièrement dans le cas de transmission de chaleur latente ou sensible) ni la variation du taux de rendement qui, dans le cas d'un même élément peut varier jusqu'à 10 pour cent selon les différences relatives de temps et les débits volumiques.

Quelle leçon faut-il en retirer? Les récupérateurs de chaleur se sont avérés efficaces dans le secteur industriel. Cependant, à moins de conditions identiques, deux applications différentes ne permettront pas la même économie.

La pompe à chaleur

On peut considérer les quatre systèmes dont il a été question dans la présente publication comme de simples échangeurs de calories en ce sens que, quel que soit le rendement de l'appareil, la température de l'air ou de l'eau d'arrivée n'atteindra pas tout-à-fait la température de la source de chaleur perdue.

La pompe à chaleur, un nouveau dispositif mis au point pour la récupération de la chaleur, a franchi cet obstacle en récupérant les calories et en les emmagasinant de sorte que la température de la chaleur récupérée soit supérieure à celle des chaleurs perdues, en ajoutant entre 40 et 50 pour cent d'énergie électrique à la chaleur d'échappement.

La pompe à chaleur fonctionne essentiellement sur un cycle de refroidissement de base dans lequel un compresseur mû à l'électricité refoule un gaz chaud sous haute pression dans un condenseur où il se transforme en liquide qui transmet de la chaleur au milieu à chauffer. Comme le diagramme le montre, le liquide se transforme en gaz dans l'évaporateur, absorbant la chaleur de l'air d'échappement ou du véhicule résiduel.

Pour des températures d'échappement maximales normales de 40° C à 55° C (des travaux sont en cours sur des modèles avec températures de sortie plus élevées) en retour de chaque kilowattheure reçu, la pompe remet 3 ou 4 kilowattheure en BTU, ce qui constitue un coefficient de rendement de l'ordre de trois. Les pompes à chaleur constituent une importante amélioration et elles joueront sans doute dans un proche avenir un rôle important dans le domaine de la conservation de l'énergie.

À mesure que la température de la source de chaleur diminue, le coefficient de rendement diminue également. Comme résultat, on ne recommande généralement son emploi que dans les cas où la température récupérée doit être supérieure à celle de la chaleur perdue ou encore lorsque les sources d'approvisionnement et d'échappement sont situées dans des endroits différents et qu'il faut ajouter de l'énergie à la chaleur récupérée.

La créativité est la clé du succès

Il existe au Canada autant de procédés que d'usines et les occasions de conserver l'énergie abondent.

Pour réaliser des économies, il faut une approche créatrice et la volonté de s'éloigner des anciennes méthodes sans pour autant sacrifier le côté pratique.

Deux bons exemples de cette façon de penser et qui ne figurent pas dans la partie portant sur les cas pratiques se rapportent en quelque sorte à l'industrie du ciment. Le premier a trait à un nouveau procédé plus efficace sur le plan de la conservation de l'énergie. Ce procédé de fabrication par voie sèche sera appliqué par l'Inland Cement à l'usine de Delta (C.-B.).

Selon le procédé conventionnel par voie humide, les matières premières sont broyées et mêlées à 32 et à 39 pour cent d'eau pour former une barbotine nécessaire au transport au four. Là, le calcaire humide et d'autres ingrédients ne peuvent recevoir que la chaleur nécessaire à leur transformation en ciment après l'élimination de l'eau. Outre le besoin d'un four beaucoup plus grand, on obtient comme résultat un énorme gaspillage d'énergie.

Le nouveau procédé par voie humide élimine l'eau au moyen d'une tour de préchauffage à quatre niveaux, la chaleur étant fournie à chacun des niveaux par l'échappement du four à ciment. L'échappement résiduel servira également à produire des courants de convection pour recueillir sur place la poussière des broyeurs à cylindres.

Bien qu'il s'agisse d'un programme d'envergure, l'entreprise est convaincue des bénéfices à cause de la grande consommation d'énergie d'une industrie qui consomme jusqu'à 3,5 millions de calories par tonne de ciment produite.

Par coïncidence, un autre projet récent de conservation de l'énergie relié à l'industrie du ciment prévoit la fabrication de portes qui permettent d'économiser l'énergie dans les usines de fabrication de blocs de béton. Selon le système manufacturé au Canada par Philippe Cousin Limited de Montréal les grandes portes des fours ne s'ouvrent pas complètement pour enlever ou poser les supports lors du chargement ou du déchargement du four,

opération qui occasionne une perte de 50 pour cent de l'énergie produite pendant le cycle de chauffage précédent.

Avec les nouvelles portes à casiers, une seule palette à la fois est introduite sur des supports fixés à l'intérieur du four. Chaque fois qu'il faut introduire un bloc cru ou retirer le produit fini, on n'ouvre qu'une seule petite porte.

De nombreuses usines au Canada pourraient réduire leur consommation d'énergie en modifiant leur matériel de combustion et de traitement.

ÉTUDES DE CAS

Des rideaux d'air remplacent les exhausteurs d'un dégraisseur

Exposé de la situation: À l'usine de la International Harvester's de Chatham, Ontario, un dégraisseur à eau chaude/vapeur sous haute pression utilisé pour nettoyer diverses pièces de métal en feuille était muni de deux exhausteurs de 9 000 pi. cu./mn servant à maintenir une pression négative dans le dégraisseur et à prévenir la dispersion de la vapeur et de l'eau dans l'usine. La direction jugea que les 18 000 pi. cu/mn d'air d'échappement dont la température variait entre 34° C et 44° C représentaient une importante perte de chaleur qu'il était possible d'éviter.

Mesure prise: On enleva les exhausteurs et on installa des rideaux d'air pour empêcher la vapeur de s'échapper dans l'usine.

Économie d'énergie et d'argent:
3800 MMBtu @ $2.00/MMBtu = $7600/année.

Coût des travaux d'amélioration: $4000.

Recommandation: Étudier la possibilité d'enlever les exhausteurs des dégraisseurs et de tout autre équipement s'il est possible de le faire.

Air comburant d'une chaudière réchauffé au moyen des gaz récupérés des carneaux.

Exposé de la situation: À la boulangerie George Weston Limited de Toronto, 1 200 pieds cubes/mn d'échappement de la chaudière chauffés à 218° C étaient perdus à l'air libre, emportant avec eux une grande quantité de chaleur réutilisable. On demanda à un expert-conseil d'étudier diverses façons de récupérer cette chaleur.

Mesure prise: On installa un échangeur de chaleur à plaques pour réchauffer l'air comburant d'appoint de la chaudière.

Économie d'énergie: Environ 1 450 millions de pieds cubes par année. Il serait possible de réaliser de plus importantes économies si l'installation fonctionnait à pleine capacité toute l'année. Au cours de l'été, alors que la quantité de chaleur nécessaire est moindre, la chaudière fonctionne au tiers ou à la moitié de sa capacité.

Économie d'argent: 1 450Mpi^3 par année @ $2.00/Mpi^3 = $2 900 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $1850

Recommandation: Dans l'usine, il existe des moyens peu coûteux qui permettent de récupérer à diverses fins la chaleur provenant des gaz de carneau. Étudiez-les.

Système de récupération de la chaleur d'un four à induction contrôlant l'échappement de l'incinérateur

Exposé de la situation: À l'usine de l'American Can of Canada de Hamilton, on utilisait quatre gros fours à induction pour cuire la couche protectrice intérieure des boîtes de conserve. Au cours de l'opération, ces fours laissaient échapper des vapeurs aux solvants volatils que les responsables de l'environnement souhaitaient voir éliminer par incinération. La direction saisit là la chance d'utiliser cet échappement propre de l'incinérateur chauffé à 632° C comme source de chaleur (fournie auparavant par le gaz naturel) devant être réintroduite dans les fours à induction.

Mesure prise: On installa un système de récupération de la chaleur sur les fours à induction afin de permettre l'acheminement de quantités déterminées d'échappement de l'incinérateur dans les six zones témoins du four, et aussi, afin de maintenir la température à l'intérieur du four au degré voulu n'excédant pas 218° C, grâce à un système de commande et de réglage.

Économie d'énergie: (par four)
Consommation annuelle de gaz avant la récupération = 43176Mpi^3 par année
Consommation annuelle de gaz depuis la récupération = 26124Mpi^3 par année
Économie = 17052Mpi^3 par année

Économie d'argent: (par four)
17 052Mpi^3 @ $2.00/ Mpi^3 = $34 104 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $56000 (récupération de la chaleur seulement)

Recommandation: Étudiez les systèmes de récupération afin de découvrir comment utiliser les gaz de carneau des incinérateurs. Songez aux futures découvertes dans le domaine technique lorsque vous étudiez les facteurs économiques relatifs aux investissements nécessaires. L'American Can apporta ces améliorations tout en étant parfaitement consciente du fait que les recherches dans le domaine du revêtement intérieur au moyen de l'eau (qui rendrait inutile l'utilisation des incinérateurs et par le fait même éliminerait les pertes de chaleur dues à ceux-ci) en étaient à l'étape

préliminaire. Il en est de même en ce qui concerne un système de séchage électrique à l'ultra-violet dont on dit qu'il réduira considérablement la consommation d'énergie ainsi que les dimensions du four.

Eau de refroidissement des compresseurs de condensateurs à ammoniac et autres usages.

Exposé de la situation: la Brasserie Labatt réalisait que le fait de déverser à l'égoût environ 100 gpm (144 000 gallons par jour) d'eau chauffée à 26° C représentait une perte d'énergie considérable vu leur besoin en eau pour les condensateurs à ammoniac, en eau d'appoint pour les chaudières et autres usages.

Mesures prises: la société a installé des canalisations devant acheminer l'eau de refroidissement des compresseurs à la chaudière (40 000 gallons par jour) et aux condensateurs à ammoniac (20 000 gallons par jour). Auparavant, la température de l'eau de la ville utilisée à ces fins était de 4° C approximativement. L'eau de refroidissement des compresseurs est à peu près deux fois plus chaude et, par conséquent, nécessite moins de chauffage au gaz pour atteindre la température requise de 104° C.

Économie d'énergie: économies réalisées grâce à la diminution de la consommation d'eau et de gaz naturel: environ $15 000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $26 000.

Recommandations: en vue de la récupération de la chaleur, trouver d'autres usages pour l'eau d'alimentation des chaudières, de refroidissement des compresseurs et des dispositifs de soudage par points ou encore pour l'eau propre chauffée. Quant aux 80 000 gallons d'eau qui continuent d'être déversés tous les jours à l'égoût, la Brasserie Labatt espère découvrir d'autres moyens de les utiliser, entre autres nettoyage des planchers, systèmes de refroidissement par aspersion installés sur le toit en permettant de réduire la chaleur pendant l'été et approvisionnement d'un grand réservoir de stockage secondaire d'approvisionnement en eau pour la lutte contre l'incendie.

Une tour de réfrigération permet de réduire la consommation d'eau de refroidissement

Exposé de la situation: l'usine de la George Weston Limited de Toronto utilise de l'eau froide pour refroidir le fréon utilisé au cours du processus de réfrigération. Chaque année 17 000 000/gallons d'eau étaient utilisés sans recyclage. Un expert-conseil indiqua à la Weston les économies qu'elle pourrait réaliser en recyclant cette eau grâce à une tour de réfrigération.

Mesure prise: on installa une tour de réfrigération qui, en raison de la nécessité d'utiliser une eau de refroidissement d'une température de 16° - 19° C dans les unités de réfrigération, peut être utilisée huit mois par année — l'eau de la ville nécessaire étant utilisée le reste du temps.

Économie d'eau: environ 17 000 000 gallons X 8/12 = 11 333 000 gallons/année.

Économie d'argent: 11 333 000 gallons @ $0,6675 par mille gal. (plus frais d'égoût) = $8 600/année.

Coût des travaux d'amélioration: $12 500 et un coût d'exploitation annuel de $1 500.

Recommandation: étudier les possibilités d'utiliser des tours de réfrigération afin de réduire la demande d'eau de refroidissement provenant des réservoirs municipaux. Dans certains secteurs, des règlements interdisent l'utilisation de systèmes sans recyclage d'eau. On devrait y songer sérieusement.

Récupération par canalisation de l'échappement pour le chauffage préliminaire d'un séchoir

Exposé de la situation: l'usine de la Sangamo Limited située à Toronto a dû installer une nouvelle étuve chauffée à l'électricité sur la chaîne de lavage des pièces métalliques. Plutôt que de laisser échapper à l'air libre 3 000 pieds cubes/min d'échappement du séchoir, il fut décidé de récupérer cet air chauffé à 38° C et de l'utiliser pour faire le séchage préliminaire des pièces métalliques dans la section d'égouttement.

Mesure prise: le personnel de l'usine a installé 4 pieds de canalisation servant à récupérer l'air chaud du tuyau d'échappement du séchoir pour l'acheminer à la section d'égouttement et de là à l'air libre.

Économie d'énergie: on évalue à sept pour cent la réduction de la consommation d'électricité, réduction réalisée grâce à des périodes moins longues de séchage au four.

Économie d'argent: environ $180 par année

Coût des travaux d'amélioration: $60.

Recommandation: dans de nombreuses usines, il existe plusieurs moyens d'utiliser à peu de frais la chaleur perdue provenant des tuyaux d'échappement des fours. Comme dans le présent cas, les économies réalisées peuvent être relativement peu importantes, mais il en est de même pour les investissements nécessaires.

Dans une verrerie, l'installation d'un économiseur s'avère très profitable

Exposé de la situation: la direction d'une verrerie, prévoyant une pénurie possible de combustible, s'attaquait à l'étude des programmes de conservation.

Mesure prise: comme le transfert efficace de la chaleur s'imposait, on a modifié la petite installation de chaudière afin de pouvoir y ajouter un économiseur servant à chauffer l'eau d'alimentation. Il s'agissait d'une chaudière à deux parcours chauffée au gaz, de conception typique, fonctionnant à une pression de 120 livres par pouce carré (saturation) (167° C) et produisant de la chaleur et de la vapeur. Sa surface de chauffe était de 2 000 pieds carrés et sa puissance était évaluée à 200HP. On a fait fabriquer un économiseur spécial qu'on a installé à même le système. Au départ, le manufacturier a évalué à 640 000 Btu/heure la quantité de chaleur pouvant être récupérée par l'économiseur. Après une période raisonnable d'utilisation, la quantité de chaleur récupérée s'élevait à plus de 1 000 000Btu/heure.

Économie d'énergie: pour une période de 5 jours par semaine, 50 semaines par année et 24 heures par jour, l'économiseur reçoit 6X10^{9}Btu/année. En ne tenant pas compte des économies réalisées les fins de semaine, l'économie réelle d'énergie réalisée grâce à l'économiseur (chaudière efficace à 80%) est de 6 600MMBTU/année. . . ce qui équivaut à une économie de 6 600 Mpi^3 de gaz.

Économie d'argent: à $2,00/Mpi^3 pour le gaz, les économies s'élèvent à = $13 200 par année.

Coûts des travaux d'installation: les coûts des travaux d'installation du nouvel appareil se sont élèvés à $6 046. Donc la période d'amortissement était moins qu'un an.

Recommandation: quantité d'installations industrielles pouvant récupérer la chaleur perdue. Étudiez les applications possibles dans votre usine.

Récupération par un économiseur de la chaleur perdue qui servira à chauffer l'air dans une laiterie

Exposé de la situation: la direction d'une laiterie avait décidé de faire construire un nouvel entrepôt, mais il n'était pas question d'installer un système conventionnel de chauffage au gaz en raison de la pénurie de gaz.

Mesure prise: on a décidé de récupérer la chaleur des gaz de carneau de la chaudière qui s'échappaient à l'air libre. Les principaux éléments du calcul étaient les suivants:

1. installation d'un serpentin à eau chaude à ailettes dans la culotte de la cheminée;
2. installation d'une pompe servant à acheminer l'eau aux serpentins du ventilateur dans l'entrepôt;
3. système conventionnel de chauffage à eau chaude devant être installé dans l'entrepôt;
4. système automatique de déviation de l'eau des serpentins à ailettes vers le réchauffeur de l'eau d'alimentation de la nouvelle chaudière lorsque la température requise dans l'entrepôt est atteinte; et
5. dispositions à prendre pour permettre de laisser échapper automatiquement à l'air libre les gaz des carneaux lorsque la quantité de chaleur disponible dépasse celle pouvant être utilisée.

Économie d'énergie: la quantité de chaleur perdue des gaz de carneau récupérée à 75%, a été de 4 875 MMBtu par année.

Économie d'argent: au taux de $2/Mpi^3, (4 875Mpi^3 × $2) = $9 750 par année.

Coût des travaux d'amélioration: le coût du système de récupération a été de $17 340.

Recommandation: étudiez les possibilités de récupérer la chaleur qui s'offrent à vous dans votre usine. Alors qu'on désirait tout d'abord installer un système de chauffage adapté aux besoins de l'entrepôt, on a réussi à réaliser des bénéfices supplémentaires grâce à l'installation d'un réchauffeur d'eau d'alimentation à même le système. Le coût total du système de récupération a donc été de $9 040; c'est plus cher qu'un système de chauffage électrique, mais la différence de coût a été récupérée en moins de deux ans grâce aux économies réalisées dans le coût d'exploitation. Tous les systèmes de récupération de la chaleur des cheminées doivent permettre de maintenir la température du gaz à un niveau suffisamment élevé pour éviter la condensation et/ou la corrosion par les acides.

Le filtrage permet de récupérer les déchets

Exposé de la situation: la société Butler Metal Products de Cambridge en Ontario utilise un procédé de lavage en cinq étapes pour l'emboutissage. Deux fois par mois, on vide les réservoirs de lavage afin d'empêcher la contamination du réservoir de maintien. Cet effluent (composé à 98% d'eau, d'huile et de pâte de tréfilage) est transporté par camion-citerne puis incinéré au coût approximatif de $10 000 par année.

Mesure prise: la société étudie la possibilité d'installer un système de filtrage continu qui permettra d'éliminer la saleté et l'huile du bain de dégraissage et réduira grandement la quantité de solution enlevée et incinérée.

Économie d'énergie: aucune directement, cependant, l'incinération des déchets consomme beaucoup d'énergie et représente une grande partie des coûts relatifs à l'enlèvement bimensuel de 2 200 gallons de solution.

Économie d'argent: non disponible; cependant, on prévoit que la période d'amortissement sera inférieure à deux ans.

Coûts des travaux d'amélioration: $10 000 y compris le matériel et l'installation.

Recommandation: étudier les systèmes de filtrage ou les autres moyens d'utiliser plus longtemps les solutions requises par le procédé et de réduire les frais associés au transport et à l'incinération.

Des couvertures faites de billes flottantes permettent de réduire la perte de chaleur d'un réservoir calorifuge

Exposé de la situation: la direction de Canadair se préoccupait de la perte de chaleur à la surface d'un réservoir isolé contenant 64 000 livres de sodium bichromate à une température de 94° C. Avant de prendre quelque mesure que ce soit, on a fait des essais contrôlés au cours desquels on calculait la quantité de vapeur requise pour que le réservoir conserve sa température avec et sans couverture de billes. Avec un tel dispositif, la consommation de vapeur se trouvait réduite des deux-tiers et plus.

Mesure prise: la surface du réservoir était recouverte d'une couche de billes de polypropylène de 2" de diamètre, ce qui eut pour effet de réduire l'évaporation, la perte de chaleur et, de façon considérable, la période nécessaire au réchauffement du réservoir après sa fermeture au cours des fins de semaine ou des congés.

Économie d'énergie:

Vapeur nécessaire sans couverture:
1820 livres/heure (533 kW)

Vapeur nécessaire avec couverture:
570 livres/heure (167 kW)

Réduction: 1250 livres/heure = 6,9 gallons/heure d'huile de chauffe.

Économie d'argent: 6,9 gallons/heure X 24 heures X 5 jours/sem X 47 semaines/an = 38 916 gallons/année @ 0,35/gallon = $13 620 par année.

On réalise également une économie de $100 par année en ce qui concerne l'eau.

Récupération des gaz des carneaux à partir de l'air réchauffé des fours

Exposé de la situation: à la boulangerie George Weston Limited de Toronto, des experts-conseils ont constaté la possibilité de réaliser des économies d'énergie grâce à la récupération de la chaleur perdue des gaz de carneau qui s'échappe des fours à pain et qui pourrait être utilisée pour réchauffer l'air du four. Suivant les conditions, 200 à 500 pieds cubes/min de gaz de carneau chauffés à des températures variant de 260° C à 326° C s'échappaient de 2 fours chauffés par cinq brûleurs à gaz. L'air d'appoint était ventilé de l'extérieur à l'intérieur à une température de 10° C.

Mesure prise: on installa cinq petits échangeurs de chaleur à plaques (un pour chaque brûleur) qui réchauffèrent, grâce aux gaz des carneaux, l'air des fours à des températures variant de 188° C à 244° C.

Économie d'énergie: environ 2 650Mpi^3 par année.

Économie d'argent: 2 650Mpi^3 par année @ $2 Mpi^3 = $5 300 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $7 250.

Recommandation: étudiez les possibilités de récupérer la chaleur lorsque les gaz des carneaux peuvent être utilisés pour réchauffer l'air d'appoint des fours ou des séchoirs.

Récupération de la chaleur au moyen d'un système à circulation forcée au glycol

Exposé de la situation: la société 3M Canada a réalisé qu'une grande quantité de chaleur perdue était disponible sous forme d'échappement à température élevée et de vapeur de décompression provenant de condensats sous haute pression. Il était possible de récupérer la chaleur en réchauffant l'air pénétrant dans le four de traitement et en réchauffant l'air d'appoint de l'édifice au cours de l'hiver; cependant, en raison du volume d'air, de la distance entre les sources de chaleur et leurs usagers, et de la disponibilité de la vapeur de décompression pour la récupération de la chaleur, on décida qu'un système air-air ne serait pas approprié. À cause des impuretés qu'il contient, l'échappement ne pouvait pas être réutilisé.

Mesure prise: la société a installé un système à recirculation forcée au glycol qui, bien que moins efficace qu'un système air-air, présentait l'avantage de nécessiter un investissement inférieur et d'occuper moins d'espace (il n'y avait pas de place pour de grosses conduites) et permettait de récupérer la chaleur perdue provenant de la vapeur de décompression.

Dans l'ensemble du système, trois des quatre dispositifs effectuant le transfert de la chaleur appartiennent à une seule unité de traitement, c'est-à-dire que la chaleur est récupérée à partir de l'échappement du four et aussi à partir de la vapeur de décompression qui s'échappe des condensats sous haute pression provenant des serpentins à vapeur utilisés pour chauffer l'air pénétrant dans le four. Cette chaleur est alors transmise à l'air pénétrant dans le four avant qu'il n'entre dans les serpentins à vapeur. Le quatrième dispositif de transfert de la chaleur, qui réchauffe l'air d'appoint de l'édifice, fonctionne seulement au cours de la période de chauffe, bien qu'au cours de cette période il soit le principal utilisateur de chaleur du système.

Économie d'énergie: l'équivalent de 170 000 gallons par année de combustible lourd de catégorie "C".

Économie d'argent: 170 000 gallons par année @ $0,35 = $59 500 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $150 000.

Recommandation: les obstacles physiques ne devraient pas constituer une entrave à l'installation de systèmes de récupération de la chaleur. L'utilisation de ce système particulier chez 3M a démontré qu'il y a surchauffement de l'air d'appoint de l'édifice par tous temps sauf par temps très froid en raison de la quantité de chaleur contenue dans le glycol. Par conséquent, la société installa par la suite une soupape à trois voies et un dispositif automatique de contrôle de la température sur les serpentins réfrigérants du générateur pulseur d'air afin de maintenir l'air d'appoint à la température désirée et de dévier la chaleur perdue sur l'air pénétrant dans le four.

Une plus grande récupération de la chaleur des lessiveurs permet de réaliser des économies d'huile

Exposé de la situation: la St. Anne-Mackawic Pulp and Paper avait utilisé depuis quelques années un échangeur de chaleur relativement petit pour récupérer la chaleur provenant du condensat des lessiveurs de pâte. Avec ce système, le condensat pressurisé à 100 lb/po.cu. (chargé de liqueur de cuisson et de fibres) passait dans un réservoir à la pression atmosphérique dans lequel il formati une importante quantité de vapeur de décompression qui passait dans un échangeur de chaleur à plaques afin de chauffer l'eau de la rivière (1° C en hiver à de 82° à 88° C) servant au lavage de la pâte lors du processus de blanchiement.

En raison du coût toujours plus élevé du mazout nécessaire pour produire de la vapeur et de la quantité de chaleur que l'on continuait à perdre à cause des dimensions réduites de l'échangeur de chaleur, on réalisa qu'il serait rentable d'augmenter la capacité de l'échangeur de chaleur.

Mesure prise: la société a installé un deuxième échangeur de chaleur d'une capacité de 60% supérieure au premier, et les utilisa tous les deux en parallèle.

Économie d'énergie: réduction de vapeur due à l'échangeur supplémentaire = 25 MMBtu/heure.

Économie d'argent: 25MMBtu/heure X 6 000 heures/année X $2/MMBtu = $300 000/année.

Coût des travaux d'amélioration: $175 000 (Retour sur investissement: 170% par année).

Recommandations: quantité d'installations industrielles pouvant récupérer la chaleur perdue provenant des liquides utilisés, grâce à l'utilisation d'une vaste gamme d'échangeurs de chaleur. Étudiez les applications possibles.

Chaleur récupérée de l'échappement des séchoirs

Exposé de la situation: la prise d'air extérieure et la cheminée d'un système de séchage à température élevée sont à 15 pieds l'une de l'autre sur le toit de l'usine de la société 3M Canada à London, Ontario. Selon le comité sur la conservation de l'énergie, c'était là l'occasion idéale d'installer un système de récupération de la chaleur air-air puisqu'il n'était question que d'air et que la longueur des conduites ne présentait aucun problème. Comme source de chaleur, on disposait de 12 000 pieds cubes/min d'échappement du séchoir, échappement dont la température, compte tenu du procédé, atteignait presque 94° C. À cause des impuretés, on ne pouvait recycler l'air.

Mesure prise: la société a installé un groupe d'échangeurs de chaleur à plaques parallèles pour assécher l'air d'appoint du séchoir (un peu moins de 12 000 pieds cubes/min puisque le séchoir fonctionne en régime négatif) en utilisant l'échappement à haute température du séchoir. En hiver, la température moyenne de l'air provenant de l'échangeur de chaleur atteint environ 64° C alors qu'en été elle approche les 94° C. Dans les deux cas, la vapeur la surchauffe à plus que 150° C, la température d'admission requise du séchoir.

Économie d'énergie: en raison du fait qu'on utilise moins le chauffage à la vapeur pour chauffer l'air d'appoint du séchoir et en tenant compte de l'efficacité du système de chauffage et de la production de vapeur, on a réussi à économiser annuellement l'équivalent de 33 000 gallons de combustible lourd de catégorie "C".

Économie d'argent: 33 000 gallons par année $0,35 le gallon = $11 550 par année.

Coût des travaux d'amélioration: non disponible; cependant, la période d'amortissement du projet est inférieure à 2 ans.

Recommandation: étudiez tout d'abord les possibilités de recyclage direct relatives aux séchoirs et aux autres systèmes d'évacuation de la chaleur, mais lorsque les impuretés de l'air ou d'autres facteurs empêchent une recirculation directe, orientez les recherches vers l'utilisation des échangeurs de chaleur (échangeur rotatif et conduites de chaleur) en vue de récupérer la chaleur perdue des échappements. L'échangeur de chaleur à plaques parallèles a l'avantage d'être de conception modulaire et offre une certaine facilité de mise en place en réduisant ou en réutilisant des éléments du système dans différentes parties de l'usine. Il est à noter que l'efficacité de ce type d'échangeur de chaleur augmente selon la différence de température qui existe entre le gaz d'entrée et le gaz d'échappement.

Réchauffage de l'air par un régénérateur tubulaire au cours du procédé de vulcanisation du caoutchouc

Exposé de la situation: incapable d'obtenir l'énergie supplémentaire nécessaire pour permettre l'amélioration des installations de vulcanisation et autres installations nécessitant l'utilisation de la vapeur, une société de traitement du caoutchouc eut recours aux installations de récupération de la chaleur comme moyen permettant d'économiser suffisamment d'énergie pour réaliser cette expansion.

Mesure prise:

1. On a installé un nouveau dispositif de récupération de la chaleur à la place de l'ancien réchauffeur d'air primaire chauffé à la vapeur.
2. On a installé une nouvelle chaudière de 125 HP devant assurer la haute pression et la vapeur supplémentaire nécessaires pour satisfaire aux exigences du traitement.
3. On s'est débarassé de deux vieilles chaudières verticales de 30 HP: la nouvelle chaudière utilise le gaz naturel.

Le nouveau dispositif de récupération de la chaleur est composé principalement de deux échangeurs de chaleur reliés à une série de conduits. Chaque conduit de chaleur constitue un système autonome fermé qui fait passer la chaleur de la source au radiateur avec une très faible baisse de température. L'opération réelle dépend du transfert de la chaleur de la vapeur et de la capillarité. Le transfert de l'énergie thermique se révèle très efficace puisqu'il consiste essentiellement en un procédé isothermique.

Économie d'énergie: on a terminé l'installation en juillet 1973 et depuis lors, tout fonctionne sans problème. On évalue les économies annuelles d'énergie à 3 200Mpi³ de gaz naturel (ou 3,2 milliards de BTU). Il est à noter que dans le présent cas il s'agissait de l'application d'une basse température, la température de l'échappement étant de 34° C.

Économie d'argent: au taux de $2,00 le Mpc, le montant total économisé est de $6 400.

Coût des travaux d'amélioration: seul le propriétaire posède les renseignements sur ces coûts. Mais l'important, c'est qu'en plus de permettre la réalisation d'économie d'argent, la nouvelle installation permet d'utiliser à d'autres fins la chaleur récupérée, favorisant ainsi l'expansion.

Recommandation: les conduites de chaleur représentent un moyen intéressant de récupérer la chaleur dans plusieurs cas. Consultez la brochure pour l'explication des divers procédés de récupération de la chaleur.

Chaleur récupérée de la purge continue d'une chaudière

Exposé de la situation: la société 3M Canada envisageait d'utiliser toute la chaleur latente de l'eau de la purge continue d'une chaudière pour chauffer l'eau d'alimentation du dégazeur et l'eau d'appoint de la chaudière.

Mesure prise: on a mis au point un système grâce auquel 9,5 MM lb d'eau/année de la purge continue d'une chaudière (soutirée juste sous le niveau d'eau du collecteur de vapeur) sont transmises dans un réservoir évaporateur. On sépare de l'eau 1,6 MM lb/année de vapeur de décompression, qu'on utilise pour chauffer l'eau d'alimentation du dégazeur — avec vapeur vive à basse pression comme complément. Les autres 8,7 MM lb/année d'eau qui s'écoulent du réservoir évaporateur passent par un purgeur thermostatique à flotteur, puis par un échangeur de chaleur à calandre d'où la chaleur est transmise dans l'eau d'appoint de la chaudière. Finalement, l'eau de purge est déversée à l'égoût à des températures relativement basses (de 16° à 38° C).

Économie d'énergie: ce système permet à la société d'économiser annuellement l'équivalent de 19 000 gallons de combustible lourd de catégorie "C".

Économie d'argent: 19 000 gallons/année à $0,35 le gallon = $6 650/année.

Coût de l'amélioration: avec un nouvel équipement: $12 000. En raison du fait que la nature du travail n'avait pas rapport au procédé, la société était prête à accepter une période d'amortissement de trois ans (compte tenu des coûts de l'énergie à l'époque).

Recommandation: trouver des moyens d'utiliser l'eau de la purge continue d'une chaudière comme source économique de chaleur. Le système utilisé par la société 3M s'est révélé relativement simple et fiable; de plus, il n'a pas à être entretenu. Son point faible est la crépine montée dans la

conduite de purge devant le purgeur et l'échangeur de chaleur. En raison du degré élevé de concentration des solides en suspension dans l'eau de purge, la corbeille de la crépine a tendance à se bloquer assez rapidement et on doit l'entretenir régulièrement.

Récupération de la chaleur de l'eau résiduaire d'une usine de textile

Exposé de la situation: la direction d'une usine de textile s'est rendue compte qu'il était possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en récupérant l'eau chaude des bacs de préparation des couleurs utilisés pour le lavage continu des tissus. Avant d'appliquer les mesures de conservation de l'énergie, 360 gpm d'eau à 160° F provenant de l'opération de lavage étaient jetés à l'égoût.

Mesure prise: la société a installé un échangeur de chaleur à contre-courant afin de réchauffer les 360 gpm d'eau froide d'entrée (température annuelle moyenne de 63,32° F) en utilisant les eaux résiduaires comme source de chaleur. L'échangeur de chaleur fut muni d'un système de contre-rinçage automatique permettant de réduire le problème d'encrassement caractéristique aux procédés utilisés dans l'industrie du textile.

Économie d'énergie: basée sur un facteur de récupération de la chaleur de 58 pour cent et une période d'exploitation de 4 440 heures/année:

Économies: 360 gpm X 10 livres/gallon X (160–63,3)°F X 60 minutes/heure X 4 440 heures/année X 1 Btu/livre°F X 0,58 = 53 800 MMBtu/année.

Économie d'argent: 53 800 Mpi^3 @ $2.00 Mpc = $107 600 année.

Coût des travaux d'amélioration: En supposant qu'on met cinq ans pour récupérer le capital, plus le coût d'amortissement annuel approximatif de l'échangeur de chaleur (10 MMBtu/heure), plus le coût d'installation = $6 000/année.

Recommandation: étudiez les possibilités de récupérer la chaleur provenant de toutes les eaux résiduaires d'une usine. Il importe de choisir le système d'échangeur de chaleur à contre-courant approprié à un système donné vu l'encrassement qui pourrait nécessiter un entretien exagéré.

Économie d'énergie grâce à la récupération de la chaleur provenant d'un incinérateur d'hydrocarbures

Exposé de la situation: une société de fabrication de boîtes de conserve était aux prises avec d'importants problèmes de pollution d'air dûs à la présence d'hydrocarbures solubles produits par le procédé de lithographie et la cuisson subséquente des tôles d'acier servant à fabriquer les extrémités des boîtes. On désirait mettre sur pied une troisième chaîne de fabrication de boîtes de conserve, et bien que les deux chaînes de fabrication existantes étaient munies d'une torchère, il était impossible de récupérer la chaleur à partir de ces torchères. Le système d'incinération et de récupération de la chaleur perdue devait assurer principalement:

1. l'élimination totale des hydrocarbures provenant de la cuisson
2. l'incinération à flamme directe
3. un coût d'exploitation économique

Mesure prise: les fumées d'échappement du four sont acheminées du ventilateur de tirage forcé du gaz utilisé par des tubes d'un échangeur de récupération de chaleur dans lesquels elles sont réchauffées avant de pénétrer dans la chambre de combustion. Cet échangeur constitue un système à deux parcours à circulation croisée dans lequel les gaz pénètrent à une température pouvant atteindre 162° C et en ressortent à une température pouvant atteindre 484° C avant d'entrer dans la chambre de combustion. Les gaz chauds incinérés (724° C) quittent la chambre de combustion à flamme directe, passent aux tubes de l'échangeur de chaleur et aboutissent dans la cheminée, propres et refroidis (environ 430° C).

Économie d'énergie: d'après la cadence d'écoulement du procédé qui est de 8 500 pieds cubes par min et pour 6 000 heures par année d'exploitation, on réalise une économie de 54% relativement à la consommation de gaz.

Économies d'argent: au coût de $2/Mpi^3, les économies s'élevèrent à $80 000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: le coût total du système de récupération de la chaleur et d'incinération, recherches et installation comprises a été de $100 000.

Recommandation: étudiez les divers moyens qui permettent de récupérer la chaleur des fumées d'échappement des fours.

La récupération de la chaleur permet de réaliser des économies d'énergie et d'eau dans les cuves de stérilisation

Exposé de la situation: à l'usine de J.H. Heinz Limited de Leamington en Ontario, de grandes cuves sont remplies de pots à stériliser. Vu qu'on ne peut ajouter d'eau froide dans les cuves sans qu'il y ait choc thermique, on devait d'abord chauffer 2 280 gallons d'eau de la ville (50°) à 170° F lors de chaque cycle avant d'en remplir les cuves. La vapeur faisait alors grimper la température de l'eau à 240° F,

après quoi on retirait graduellement l'eau chaude et on la dirigeait vers l'égoût. Ensuite, on ajoutait graduellement de l'eau froide lors d'un cycle de refroidissement qui permettait de réduire la température de l'eau des cuves à 90°-100° F.

La direction se rendait compte qu'un volume considérable d'eau chaude enlevée au cours du cycle de refroidissement était perdu, ce qui avait pour résultat d'augmenter de façon excessive la consommation de vapeur nécessaire pour chauffer l'eau froide de la ville en vue du prochain cycle de stérilisation des cuves.

Mesure prise: la société installa un réservoir d'une capacité de 6 000 gallons muni d'une minuterie automatique. On installa des soupapes à commande pneumatique et l'on effectua les jonctions nécessaires à la conduite de récupération de chaque cuve afin d'en récupérer l'eau chaude au cours du cycle de refroidissement et l'utiliser au cours du cycle de chauffage suivant.

Économie d'énergie: compte tenu du fait qu'il ne sera pas nécessaire de réchauffer 60% des 2 280 gallons/cycle de la cuve (c'est-à-dire 40% d'appoint), 2 280 X .60 = 1 368 gallons/cycle (environ).

Économie de vapeur:

$$\frac{120°F \times 1\,370 \text{ gallons/cycle} \times 10 \text{ livres/gallon}}{1\,000 \text{ Btu}°F/\text{livre}} = 1\,644 \text{ livres/cycle}$$

Économie d'argent: $2.50/M lb de vapeur = $4,11/cycle X 4 200 cycles/année = $17 262/année

Coût de l'amélioration: $28 500 ce qui représente un taux de flux actualisé de 42% et une période d'amortissement inférieure à deux ans.

Recommandation: le déversement de l'eau chaude propre à l'égoût représente toujours une grande perte de chaleur qui pourrait être utilisée dans l'usine. Étudiez tous les moyens possibles d'utiliser l'eau chaude avant de la jeter à égoût.

Une roue thermique permet de réduire les coûts d'énergie dans un atelier de peinture

Exposé de la situation: la loi exigeait que l'air dans l'atelier de peinture soit changé complètement toutes les deux minutes. En même temps, la vitesse minimale de l'air au poste d'application par pulvérisation devait être de 120 pi. min par pied carré d'ouverture de cabine. De plus, il fallait conserver une température de 24° C dans l'usine de peinture au cours de l'hiver. On a calculé que 90% de la chaleur sensible perdue pouvait être récupéré et utilisé pour réchauffer l'air d'entrée de l'atelier de peinture.

Mesure prise: l'air d'échappement fut capté dans un système de canalisation ordinaire — les sources étant les cabines d'application de peinture par pulvérisation, les torchères sur les fours de cuisson, le ventilateur du laveur et une étuve. On installa un système de récupération de l'énergie sur le toit de l'atelier. Une roue thermique de 8' de diamètre constituait le coeur du système. La roue était entraînée par un petit moteur électrique. Le mélange d'air d'échappement entre par un côté de la roue thermique à une température de 108° C et l'air extérieur au degré de la température ambiante passe par l'autre côté. La chaleur sensible échangée sert à maintenir la température de l'atelier à 24° C. L'excès d'air d'échappement est dérivé autour de la roue. Il est possible de réaliser trois cycles réguliers: le cycle de récupération de l'énergie, celui de la recirculation et le cycle de la ventilation.

Économie d'énergie: il fallait respecter les normes relatives à la ventilation. Si l'on avait dû le faire sans système de récupération de la chaleur, il aurait fallu utiliser annuellement 55 380 gallons de propane de plus.

Économie d'argent: 55 380 gallons à $0,42 le gallon = $23 260 par année.

Coût de l'amélioration: non disponible

Recommandation: étudiez les possibilités d'utilisation des roues thermiques ou autres échangeurs de chaleur pour récupérer la chaleur perdue provenant des échappements des ateliers ou des usines.

Des produits chimiques à basse température permettent de réduire la consommation d'énergie au cours des lavages par pulvérisation

Exposé de la situation: à l'usine de la Carrier Air Conditioning (Canada) Ltd. de Toronto, les opérations de lavage des pièces de métal par pulvérisation s'effectuaient à des températures atteignant à peu près 70° C — répondant ainsi aux exigences relatives aux détergents et aux produits chimiques utilisés au cours des cinq étapes du procédé (deux étapes de rinçage à l'eau). On a suggéré d'acheter des produits chimiques à basse température au même prix et de réaliser d'importantes économies d'eau chauffée au gaz.

Mesure prise: au cours des étapes 1 et 3 du procédé (lavage au détergent et revêtement de transformation) on utilisa des produits à basse température utilisables dans de l'eau dont la température moyenne est de 44° C. Au cours de l'étape 2 (rinçage à l'eau) il fut donc possible de réduire la température de fonctionnement au même niveau.

Économie d'énergie: en utilisant la formule: Capacité de la pompe (gpm) X 60 minutes/heure X 10 livres/gallon X baisse du degré de température = économie de Btu/heure. Pour chacune des étapes touchées, on a établi que l'économie d'énergie horaire totale équivalait à 2390010 Btu/heure.

Économie d'argent: basée sur une exploitation annuelle de 24 semaines et sur une réduction de la consommation du gaz naturel dans la chaudière = $4 589.

Coût de l'amélioration: aucun. Les produits chimiques utilisés avec l'eau froide coûtent un peu moins cher que ceux utilisés auparavant.

Recommandation: étudiez les moyens d'utiliser les produits chimiques à basse température et les détergents dans les procédés de vaporisation, d'immersion et d'application d'un revêtement sur les pièces de métal. En plus des économies réalisées dans la consommation du gaz naturel, les opérations effectuées à des températures réduites permettent de diminuer la consommation d'eau (il se produit moins d'évaporation aux basses températures), de réaliser des économies d'électricité (diminution de la capacité du ventilateur aspirant), de réduire l'entretien des serpentins de chauffage, de sauver de l'espace (on peut souvent se passer d'une chaudière et par le fait même de l'espace réservé aux réservoirs de combustible) et d'offrir une plus grande protection aux ouvriers qui ne risquent plus d'être brûlés par les solutions chaudes.

Eau de traitement chauffée par récupération de la chaleur des gaz des carneaux

Exposé de la situation: une confiserie se rendit compte qu'on pouvait réduire la consommation d'énergie en récupérant la chaleur de la cheminée d'évacuation de deux chaudières afin d'augmenter la température de l'eau de traitement qui était chauffée par un système à l'huile.

Mesure prise: on a installé un système de récupération de la chaleur perdue dans la cheminée des deux chaudières (chaque échappement évalué à 7 500 livres/heure) pour ramener la température des gaz des carneaux de 600° F à 300° F et pour ajouter cette chaleur à l'eau de traitement provenant du chauffe-eau.

Économie d'énergie: la quantité d'énergie récupérée par le système est la suivante: 15 000 livres/heure X 0,26 Btu/livre° F X (600-300)° F = 1,17MMBtu/heure.

On a sauvé une quantité égale d'énergie requise par chauffe-eau (50 gpm de 50° F à 180° F).

Suite à la mise en place du système de récupération de la chaleur, les températures de sortie du chauffe-eau furent réduites à 133° F, en ajoutant les 47° F supplémentaires à la récupération de 1,17 MBTU/heure des échappements des chaudières.

Économie d'argent: exploitation de 6000 heures/année:
1,17 MMBtu/heure X 6 000 heures/année X $2 MMBtu (environ) = $14 000 par an

Recommandation: étudiez la possibilité d'utiliser la chaleur perdue des gaz des carneaux comme moyen de chauffer l'eau. Afin d'éliminer les problèmes de corrosion, l'air d'échappement ne devrait pas être refroidi en bas de 300° F et la température minimum de l'eau qui entre dans l'échangeur de chaleur ne devrait pas être inférieure à 125° F.

Chauffage de l'air d'une usine de fabrication de transmissions automatiques au moyen d'un récupérateur de chaleur de radiation

Exposé de la situation: dans une usine de fabrication de transmissions automatiques, on effectua des essais sur deux fours dormants identiques à tuyau coudé. L'un resta tel quel, tandis que l'autre fut muni de récupérateurs.

Mesure prise: il s'agit de récupérateurs de conception standard et leur rôle est de capter l'énergie des gaz des carneaux et de la transmettre à l'air froid qui entre. Les deux fours sont munis de compteurs à gaz servant à mesurer la quantité et le volume total consommés.

Diverses précisions sur les essais:

— 2,0-2,5% d'oxygène dans l'échappement (10% d'excès d'air)
— température de prise en masse, 782° C
— charge approximative 500 livres
— cycle de chauffe (récupération de la température de prise en masse)
— 33 minutes pour le four non modifié
— 34 minutes pour le four muni d'un récupérateur
— Temps d'égalisation
— 59 minutes pour le four non modifié
— 58 minutes pour le four muni d'un récepteur

Économie d'énergie: la consommation de gaz du four dormant non modifié muni d'un appareil de guidage fonctionnant 6 jours par semaine, douze cycles d'une heure et demi (1½ heure) par jour, et arrêté le reste du temps, s'élève à 4,5 MMpi³ par année. La récupération permet de sauver 860Mpi³ par année ou 19% de combustible par année. Sans les appareils de guidage, le four muni d'un récupérateur permet de sauver environ 914Mpi³ par année.

Économie d'argent: (860 Mpi³ X $2/Mpi³) = $1 720 par année.

Coût des travaux d'amélioration: les récupérateurs installés lors de la mise en place d'une nouvelle fournaise coûtent $4 950 aux États-Unis.

Recommandation: étudiez la possibilité d'utiliser des récupérateurs ou tout autre échangeur de chaleur pour réchauffer l'air d'appoint d'un édifice.

Économie d'eau grâce à un système d'aération et à des appareils de contrôle des réservoirs de rinçage

Exposé de la situation: les ingénieurs de l'une des usines de la Sangamo Limited constatèrent que d'importantes quantités d'eau étaient perdues en raison du fait qu'aucun contrôle n'était exercé sur les approvisionnements destinés aux réservoirs de rinçage au cours de l'opération de placage.

Mesure prise: la compagnie décida de mettre en oeuvre un double programme d'installation d'appareils de contrôle sur les réservoirs de rinçage et d'un système d'aération permettant de diminuer la consommation d'eau et d'éviter que les réservoirs ne soient trop contaminés. En tant qu'éléments du système, on a fixé à une commande principale par solenoïde des sondes conductrices réglées à l'avance au niveau acceptable de contamination dans les réservoirs. Alors que l'eau est déversée dans le réservoir, on injecte automatiquement de l'air dans ce réservoir par des canalisations perforées en chlorure de polyvinyle, ce qui permet d'assurer un degré de contamination à peu près identique dans tout le réservoir et le bon fonctionnement des sondes quelle que soit la concentration d'impuretés.

Économie d'eau: 24 600 000 gallons/année.

Économie d'argent: 24 600 000 gallons/année/6,91 cents le 100 gallons = $17 000/année

Coût des travaux d'amélioration: $3 600 de matériel + $900 de main-d'oeuvre = $4 500.

Recommandation: l'approvisionnement continuel en eau des réservoirs de rinçage résulte en factures inutilement élevées. Les systèmes automatisés représentent un moyen peu coûteux de diminuer la consommation d'eau et de réaliser d'importantes économies par rapport au capital investi.

Les modifications apportées au couvercle d'un réservoir en favorise l'utilisation et permettent d'économiser l'énergie

Exposé de la situation: la société Canadair Limitée de Montréal, avait fabriqué deux couvercles isolés en acier pour une paire de bains de sel de 95 pieds carrés dont la température est constamment maintenue à 476° C. Ces couvercles avaient été conçus pour diminuer la perte de chaleur et d'eau dans l'usine due à une si grande surface, mais en raison de leur poids, du fait qu'ils constituaient deux éléments distincts et qu'il était impossible de les soulever au moyen d'une grue les employés ne les mettaient pas en place lorsque les réservoirs n'étaient pas utilisés. (Puisque les bains n'étaient pas utilisés fréquemment, il était préférable d'utiliser des couvercles plutôt que des couvertures de billes.)

Mesure prise: on conçu et fabriqua pour les couvercles un cadre d'acier muni de crochets permettant de les soulever comme un seul élément et de les mettre en place avec une grue. Dorénavant, les couvercles sont mis en place chaque fois que les réservoirs ne sont pas utilisés.

Économie d'énergie: d'après une utilisation moyenne des couvercles, c'est-à-dire 18 heures par jour tous les jours de l'année:

quantité de chaleur perdue auparavant = 421 325Btu/heure (123kW)

quantité de chaleur perdue actuellement = 126 398Btu/heure (37kW)

diminution = 294 927Btu/heure (86kW)

On a aussi réalisé des petites économies supplémentaires sur la consommation d'eau.

Économie d'argent: 294 927 Btu/heure X 18 X 365 = 1,94 MMMBtu par année X $\frac{1 \text{ kWh}}{3\,412 \text{ Btu}}$ =

568 581 kWh par année @ $0,025/kWh = $14 197 par année.

Recommandation: dans les cas où les réservoirs chauffés ne sont pas ouverts fréquemment, envisager la possibilité d'utiliser un couvercle de préférence à une couverture de billes flottantes. Chez Canadair, grâce au couvercle, la perte de chaleur fut diminuée de 70%. La diminution de la puissance calorifique pour le chauffage du réservoir s'est révélée être l'élément le plus important contribuant à réduire la demande électrique maximum de l'usine.

Conservation de la chaleur des réservoirs de placage grâce à un système d'isolation double

Exposé de la situation: à l'usine de la société Sangamo Limited de Toronto, les réservoirs de placage chauffés (72° C) n'étaient pas isolés pour parer aux pertes de chaleur en surface ni aux pertes d'énergie calorifique s'échappant des côtés et du fond des réservoirs. Un comité chargé de la conservation de l'énergie envisagea d'isoler les réservoirs afin d'économiser de l'énergie et par le fait même d'améliorer la qualité de l'air dans la section du placage grâce à la diminution de l'évaporation.

Mesure prise: suite à des expériences menées sur un réservoir dont la consommation électrique fut mesurée avant et après l'isolation, la société s'engagea dans un programme d'isolation des 19 réservoirs de l'usine. On a fixé une couche de mousse uréthane d'un pouce d'épaisseur sur les parois extérieures des réservoirs et on recouvrit cette couche d'une feuille d'aluminium de 0,030 pouce

d'épaisseur. On ajouta une couche de billes de polypropylène de ½ pouce d'épaisseur pour couvrir plus de 90% de la surface de chaque réservoir.

Économie d'énergie: les pertes annuelles (par réservoir) évaluées à 35 520kWh ont diminué de 50% = 17 760 kWh par année.

Économie d'argent: 17 760 kWh @ $0,025/kWh = $444 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $280 para réservoir

Recommandation: envisagez l'isolation des réservoirs ou l'utilisation de billes de plastique ou autre matière inerte flottante comme moyen de réduire les pertes de chaleur des réservoirs. Les billes de plastiques peuvent être utilisées dans divers procédés et sont disponibles en plusieurs dimensions (10mm à 100mm de diamètre) et matériaux (le polypropylène et le polyéthylène à haute et basse densité) de façon à répondre aux exigences particulières de certains procédés.

Diminution de la perte de vapeur grâce aux éclats de polystyrène

Exposé de la situation: dans un petit atelier de placage au chrome, l'évaporation des 4 réservoirs ouverts de 18 pieds carrés entraînait une perte de chaleur. Trois réservoirs contenaient des solutions de cuivre, de nickel ou de chrome. Le quatrième servait au rinçage à l'eau. Tous les réservoirs étaient chauffés 4 jours par semaine, 8 heures par jour, au moyen de thermoplongeurs électriques (d'une capacité totale de 36kW) à des températures variant de 38° C à 66° C. La perte de chaleur par évaporation augmentait à cause de l'agitation provoquée dans l'un des réservoirs au cours du processus de placage et aussi en raison de la ventilation forcée dans tout le secteur.

Mesure prise: les techniciens couvrirent la surface des réservoirs de placage en utilisant des éclats de polystyrène dilatée (2" X 2").

Économie d'énergie: la perte de chaleur fut réduite de 450 W/pi² à 35 W/pi² approximativement.

Économies annuelles: 72 pi² X (450-35) W/pi² X 1 kW/1000W X 32 heures/semaine X 50 semaines/année = 48 000 kW/heure par année.

Économie d'argent: 48 000 kW/heure/année X $0,025 kW/h = $1 200 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $450

Recommandation: étudiez la possibilité de réduire les pertes dues à l'évaporation provenant de tout contenant ouvert et chauffé en couvrant le liquide de matière inerte flottante. Différentes sortes de mousses et de billes ou boules creuses sont disponibles dans une variété de matières plastiques selon la température et la composition chimique du liquide.

Récupération de la chaleur des gaz brûlés d'une raffinerie

Exposé de la situation: à la raffinerie de la Sun Oil de Sarnia en Ontario, l'objectif de la société était de récupérer la chaleur des gaz des carneaux échappés à l'air libre à des températures variant entre 380° C et 436° C. Chaque réchauffeur ou chaudière comportait sa propre cheminée.

Mesure prise: On utilisa une canalisation ordinaire pour réunir les différents échappements des gaz des carneaux; ce courant est dirigé vers un économiseur (échangeur de chaleur) dans lequel la chaleur est récupérée kpar transfert à l'eau d'alimentation de la chaudière pour produire de la vapeur. Le gaz des carneaux de l'économiseur est échappé à l'air libre au cours de son passage dans une nouvelle cheminée. La canalisation et l'économiseur ont été conçus afin de réduire au minimum la friction, compte tenu du tirage de la cheminée.

Les orifices de sortie du réchauffeur et de la chaudière sont munis d'analyseurs des gaz des carneaux et de l'appareillage particulier permettant d'exercer un contrôle adéquat sur le mélange.

L'eau d'alimentation de l'économiseur dont le débit est de 58 600 livres/heure est réchauffée à 94° C afin de minimiser la différence de température entre l'eau et les gaz des carneaux, ce qui a pour conséquence de réduire la zone de transfert de chaleur pour un taux donné de transfert de chaleur. On a installé autour de l'économiseur une conduite reliée directement à la cheminée, ce qui permet d'effectuer l'entretien de l'économiseur.

Économie d'énergie: le mélange des gaz des carneaux pénètre dans l'économiseur à une température de 381° C et en sort à 271° C. La quantité de chaleur récupérée s'élève à 20MMBtu/heure.

20MMBtu/heure X 24 X 365 = 175 200MMBtu par année; Combustible lourd de catégorie "C" = 185 000Btu/gal. (R-U)

Économie d'argent: 20MMBtu/heure = 950 000 gallons par année @ 35¢/gal. de combustible lourd de catégorie "C" = $332 500 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $210 000.

Recommandation: Ne pas oublier que les gaz des carneaux sont facilement récupérables. Il n'est pas nécessaire que les installations soient aussi importantes pour être pratiques et économiques à la fois.

Récupération de la chaleur perdue au moyen du matériel de contrôle de la pollution

Exposé de la situation: la direction d'une usine de finition de métaux avait ajouté un dispositif d'incinération à un gros four de cuisson de peinture afin de laisser échapper à l'air libre seulement de l'air propre. Après examen, on conclut qu'il était possible de réaliser d'importantes économies d'énergie par récupération de la chaleur des gaz des carneaux de l'incinérateur. L'incinérateur était conçu pour recevoir 28 000 pieds cubes/min d'échappement chauffé à 700° F provesnant du four de finition; la chaleur de ce gaz s'élevait à 1400° F dans l'incinérateur à cause du gaz naturel et de la chaleur de combustion des vapeurs solubles.

Mesure prise: plutôt que de laisser échapper l'air chaud propre de l'incinérateur, cet échappement est désormais transmis à un échangeur de chaleur afin d'élever la température de l'échappement du four avant que l'échappement n'entre dans l'incinérateur, ce qui permet de réduire la quantité de gaz naturel nécessaire à l'incinération. Lorsqu'il est expulsé de l'échangeur de chaleur, l'échappement propre est transmis à une chaudière de récupération qui produit 50 livres par pouce carré de vapeur utilisée à diverses fins dans l'usine. La quantité totale d'énergie utilisée représente environ 50% de la quantité d'énergie produite par l'incinérateur (40% d'énergie utilisée dans l'échangeur de chaleur et 10% dans la chaudière).

Économie d'énergie: en supposant que l'incinérateur fonctionne à 75% de sa capacité: énergie produite = 28 000 pieds cubes par minute X 0,0807 livres par pied cube X 60 minutes par heure X (1400-700)° F X 0,28Btu par livre ° F X 0,75 = 20MMBtu par heure.

En raison de l'utilisation de seulement 50% de cette chaleur perdue: Économie annuelle d'énergie = 20MMBtu par année X 6000 heures par année X 0,50 = 60 000MMBtu par année.

Économie d'argent: 60 000MMBtu par année = 60MMpi^3 par année @ $2 Mpi^3 = $120 000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: non disponible.

Recommandation: en raison des besoins d'air propre, on procédera de plus en plus à l'installation du matériel de récupération ou de destruction des vapeurs solubles qui proviennent des fours de finition et des cabines d'application par pulvérisation. Étudiez les méthodes de récupération de la chaleur perdue pouvant être adaptées à cette opération.

Suggestions qui permettent d'économiser grâce au calcul fondamental d'une installation et à la récupération de la chaleur

Calcul fondamental d'une installation

1. Afin de réduire la consommation d'énergie, planifier les périodes de cuisson des pièces de diverses tailles.
2. Dans les procédés de distillation, utiliser des appareils de recompression à vapeur.
3. Appliquer le principe du soutirage latéral dans la conception des colonnes de distillation.
4. Utiliser de l'équipement continu qui retient les convoyeurs de chauffage des procédés à l'intérieur de la chambre chauffée.
5. Utiliser le rayonnement direct ou le traitement à l'infrarouge pour les appareils du type à chambre de combustion.
6. Passer du chauffage indirect au chauffage continu.
7. Passer de la production par lots à la production continue.
8. Utiliser des fours à cuve pour préchauffer les matériaux d'arrivée.
9. Convertir les réchauffeurs de liquides chauffés par en-dessous en appareils de chauffage par immersion ou par submersion.
10. Réduire l'utilisation de matériaux inutiles dans les procédés de traitement thermique.
11. Modifier la conception du produit afin de réduire les besoins énergétiques.
12. Réduire la production de déchets.
13. Remettre en état le matériel hors d'usage ou peu utilisé.
14. Régler la température au plus bas degré permis sans modifier la qualité du produit.
15. Conserver l'eau chaude qui autrement, serait probablement chassée à l'égoût (par exemple l'eau de refroidissement des compresseurs).
16. Se servir de billes ou de copeaux flottants pour réduire la perte de chaleur des réservoirs de traitement découverts.
17. Isoler les réservoirs de traitement.
18. Munir les cuves de rinçage de régulateurs afin de contrôler la consommation d'eau.

La récupération de la chaleur

1. Dans un procédé de distillation, se servir d'aérocondenseurs pour extraire la vapeur des condensats.
2. Employer les gaz des carneaux chauds dans les chaudières à rayonnement des appareils de chauffage des locaux, des sécheurs, etc.
3. Préchauffer les produits ou les matériaux à placer dans les fours, les sécheurs, etc., en utilisant les gaz de récupération.
4. Se servir des fluides chauds des procédés pour réchauffer les fluides d'arrivée.
5. Utiliser les gaz brûlés pour préchauffer les déchets à placer dans la chaudière de l'incinérateur.
6. Produire la vapeur nécessaire aux procédés en se servant des chaleurs perdues des gaz des carneaux chauds ou étudier la possibilité de vendre la vapeur excédentaire.
7. Réchauffer l'air de conditionnement des locaux avec les chaleurs perdues des gaz brûlés.
8. Préchauffer l'air comburant au moyen des chaleurs perdues des gaz brûlés.
9. Utiliser les gaz d'échappement des moteurs pour produire de la vapeur.
10. Récupérer la valeur énergétique contenue dans l'air d'échappement pollué.
11. Récupérer la valeur énergétique contenue dans les sous-produits des déchets.
12. Réchauffer les eaux résiduaires et de service au moyen des gaz des carneaux.
13. Employer la chaleur provenant de l'échappement des fours pour le chauffage des locaux.
14. Faire bon usage de la chaleur récupérée des appareils d'éclairage; s'en servir, par exemple, pour faire fonctionner les appareils frigorifiques par absorption.
15. Préchauffer l'eau d'alimentation des chaudières en récupérant la chaleur des gaz des carneaux.
16. Récupérer les solutions résiduelles en les filtrant ou en les traitant.

USAGE DANS LE SI

Quelques unités SI dérivées

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Equivaut à
force	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
pression	pascal	Pa	N/m^2
travail, énergie, quantité de chaleur	joule	J	N·m
puissance, flux énergétique thermique	watt	W	J/s
quantite d'électricité	coulomb	C	A·s
potentiel électrique	volt	V	W/A
résistance électrique	ohm	Ω	V/A
capacité électrique	farad	F	C/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V·s
induction magnétique	tesla	T	Wb/m^2
inductance	henry	H	Wb/A
fréquence	hertz	Hz	s^{-1}
flux lumineux	lumen	lm	cd·sr
éclairement	lux	lx	lm/m^2

Exemples d'unités SI dérivées exprimées en termes d'autres unités

Grandeur	Description	Expression en d'autres unités SI
superficie	mètre carré	m^2
volume	mètre cube	m^3
vitesse — linéaire — angulaire	mètre par seconde radian par seconde	m/s rad/s
accélération — linéaire — angulaire	mètre par seconde carrée radian par seconde carrée	m/s^2 rad/s^2
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg/m^3
viscosité dynamique	pascal-seconde	Pa.s
moment d'une force	newton-mètre	N.m
densité de flux thermique, éclairement énergétique	watt par mètre carré	W/m^2
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	J/K
chaleur massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg K)
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg
conductivité thermique	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)
énergie volumique	joule par mètre cube	J/m^3
perméabilité	henry par mètre	H/m
résistance thermique (R)	mètre-kelvin carré par watt	$m^2.K/W$.

Unités SI en équivalence communément employées et leurs facteurs de conversion

1 pouce = 25 mm	1 verge cube = 0.76 m^3
1 pied = 0.30 m	1 pinte (lq) = 1.1 L
1 verge = 0.91 m	1 gallon = 4.5 L
1 mille = 1.6 km	1 once = 28 g
1 pouce carré = 6.4 cm^2	1 livre = .45 kg
1 verge carré = 0.84 m^2	1 horsepower (R-U) = 745 W
1 acre = 0.40 ha	1 livre-force = 4.4 N
1 pouce cube = 16 cm^3	1 livre-force par pouce carré = 6.8 kPa
1 pied cube = 28 dm^3	

Préfixes SI

Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
1.000 000 000 000 000 000 = 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10^{15}	péta	P
1 000 000 000 000 = 10^{12}	téra	T
1 000 000 000 = 10^{9}	giga	G
1 000 000 = 10^{6}	méga	M
1 000 = 10^{3}	kilo	k
100 = 10^{2}	hecto	h
10 = 10^{1}	déca	da
0.1 = 10^{-1}	déci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	atto	a

Unités pouvant être utilisées avec les unités SI

Grandeur	Nom	Symbole	Définition
temps	minute heure jour	min h d	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86 400 s
angle plan	degré minute seconde	° ' "	1° = (π/180) rad 1' = (π/10 800) rad 1" = (π/648 000) rad
superficie	hectare	ha	1 ha = 1 hm^2 = 10 000 m^2
volume	litre	L	1 L = 1 dm^3
température	degré Celsius	°C	pour les intervalles de température 1°C = 1 K
masse	tonne	t	1 t = 1000 kg = 1 Mg

POUR COMMANDER

La série de guides "Enersage" sur la conservation de l'énergie dans l'industrie.

Pour obtenir la série de dix guides "Enersage" sur la conservation de l'énergie dans l'industrie, au prix de $5,45 (comprenant les frais de reliure, de poste et de manutention) remplissez le bon de commande et faites-le parvenir, accompagné de votre chèque ou mandat-poste à:

Master Mailers
Boîte postale 9705, Terminus d'Ottawa
Ottawa (Ontario) K1G 3Z4

Établissez votre chèque ou mandat à l'ordre de:

Master Mailers
Boîte postale 9705, Terminus d'Ottawa
Ottawa (Ontario) K1G 3Z4

Nom: _____

Titre: _____

Nom de la société: _____

Adresse: _____

Ville: _____

Province: _____ Code postal: _____

Si vous désirez recevoir plus d'une série complète pour distribution par votre compagnie, faites parvenir votre demande à l'adresse suivante:

Bureau de la conservation de l'énergie
580, rue Booth
17e étage
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4